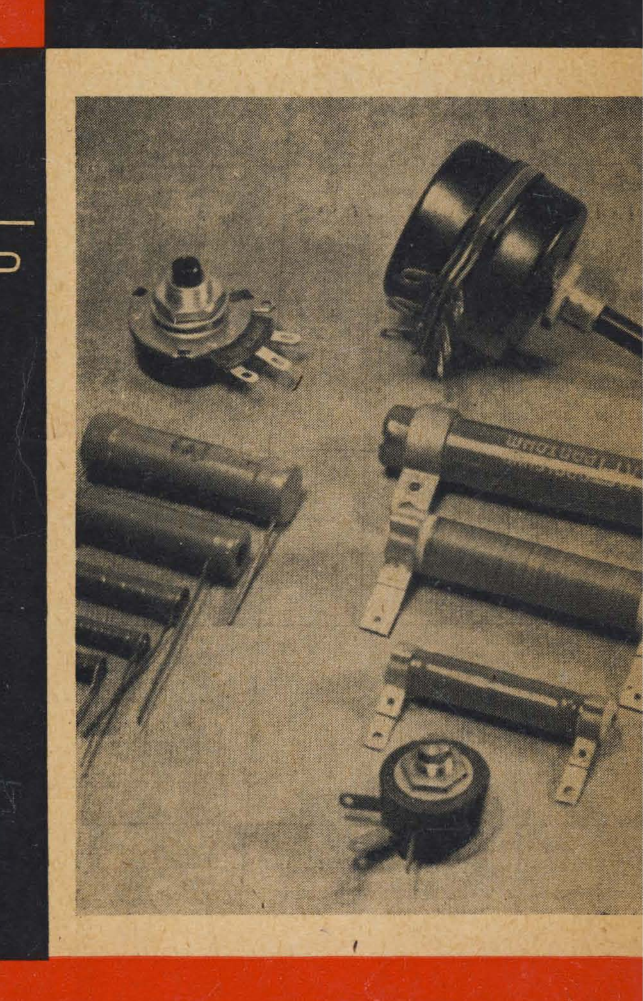
23

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



O. Morgenroth

Funktechnische Bauelemente

Teil I: Widerstände und Kondensatoren

Der praktische Funkamateur · Band 23

Funktechnische Bauelemente
Aufbau, Eigenschaften, technische Daten

OTTO MORGENROTH

Funktechnische Bauelemente

Aufbau, Eigenschaften, technische Daten

Teil I:
Widerstände
und Kondensatoren



VERLAG SPORT UND TECHNIK

Redaktionsschluß: 20. April 1962

VORWORT

Entwurf und Konstruktion eines funktechnischen Geräts setzen umfangreiche und genaue Kenntnisse der Bauelemente voraus, da von ihrem richtigen Einsatz die Funktion des Empfängers, Senders, Meßgeräts oder der elektronischen Schaltung in hohem Maße mitbestimmt wird. In jeder funktechnischen Schaltung befindet sich eine Vielzahl der unterschiedlichsten Bauteile, und es ist durchaus nicht gleichgültig, ob diese oder jene Bauform bzw. Type zur Anwendung kommt.

Die in dieser Broschüre dargebotenen allgemeinen und speziellen Ausführungen über den Aufbau, die Wirkungsweise, die Eigenschaften und die Anwendung der Bauelemente sind durch technische Daten und Angaben über das Fertigungsprogramm ergänzt. Die entsprechenden Übersichten werden besonders dem Amateur von Nutzen sein, dem die technischen Unterlagen der Industrie kaum zur Verfügung stehen.

Es werden vorwiegend zum Aufbau funktechnischer Einrichtungen bestimmte, von der Industrie unserer Republik gefertigte Bauelemente besprochen.

Von der Abbildung der Schaltzeichen wurde abgesehen, da diese in Heft 10 dieser Reihe enthalten sind.

In einer weiteren Broschüre sollen die Bauelemente Spulen, Drosseln, Transformatoren, Trockengleichrichter, Kristall-Dioden und Transistoren in ähnlicher Form behandelt werden.

Das nun in 2. Auflage erschienene Bändchen, vom Verfasser aus der Praxis für die Praxis geschrieben, soll sowohl dem Amateur bei Entwurf und Aufbau seiner Geräte oder zur Erweiterung seiner Kenntnisse als auch dem Fachmann zur raschen Orientierung nützlich sein.

Der Verfasser dankt den Betrieben

VEB Elektrogerätewerk Gornsdorf, VEB Elektro- und Radiozubehör Dorfhain, VEB Fernmeldewerk

Arnstadt, VEB Glühlampenwerk Oberweißbach, VEB Keramische Werke Hermsdorf, VEB Kondensatorenwerk Freiberg, VEB Kondensatorenwerk Gera, VEB Kondensatorenwerk Görlitz, VEB Werk für Bauelemente der Nachrichtentechnik „Carl von Ossietzky", Teltow, Firma „Elektra", Schalkau (Thür.),

die ihm bereitwilligst neueste technische Unterlagen zur Verfügung gestellt haben, sowie Herrn Cuno Triebel, Sonneberg, der einen großen Teil der Fotos anfertigte.

Sonneberg, April 1962

Der Verfasser

EINLEITUNG

Am häufigsten finden wir als Bauelemente in einer funktechnischen Schaltung Widerstände und Kondensatoren. Es werden verschiedene Bauformen und Typen mit unterschiedlichen elektrischen Größen und Eigenschaften verwendet; neben festen Widerständen und Kondensatoren sind veränderbare, teils selbsttätig regelnde Ausführungen gebräuchlich.

Nach einer allgemeinen Betrachtung der Grundform, der Wirkungsweise und der Eigenschaften dieser beiden Bauelemente werden die speziellen mechanischen und elektrischen Eigenschaften jeder Art und Type behandelt, die Fertigungsverfahren erläutert, Angaben über die Normung, die technischen Daten und den Fertigungsbereich gemacht, außerdem Hinweise für die Anwendungsmöglichkeiten sowie zur Fehlerermittlung und -beseitigung gegeben.

WIDERSTÄNDE

1. GRUNDFORM, WIRKUNGSWEISE, EIGENSCHAFTEN, MASS-SYSTEM

Als Bauelement stellt der Widerstand einen Leiter dar, der Träger des elektrischen Widerstands ist. Der Leiter kann ein Draht, ein Stab oder ein Band sein, und zwar freitragend angeordnet oder auf einem elektrisch nichtleitenden Körper aufgetragen. Die Bestimmungsgrößen des Leiters sind Länge, Querschnitt bzw. Durchmesser und Werkstoff.

Ein von Strom durchflossener Widerstand bewirkt stets einen Spannungsabfall, der sowohl bei Gleich- als auch bei Wechselstrombelastung auftritt.

Bei der Verwendung des Bauelements Widerstand sind einige besondere elektrische Eigenschaften zu beachten, die den Widerstandswert beeinflussen können:

a) Ein Widerstand hat außer seinem reinen Widerstandswert im allgemeinen noch eine Induktivität, Kapazität oder beides gemeinsam aufzuweisen, also einen „Fehlwinkel“ (analog dem „Verlustwinkel“ beim Bauelement Kondensator).

b) Wie in Drähten, so tritt auch im Widerstand als Ursache der geringen Eindringtiefe des Stromes eine Stromverdrängung auf. Diese Stromverdrängung oder „Hautwirkung“, allgemein nach dem englischen *skin* als Skin-Effekt bezeichnet, ist frequenzabhängig. Die Eindringtiefe nimmt mit wachsender Frequenz ab.

c) Der Widerstandswert eines Widerstands ist temperaturabhängig. Es ist dabei gleichgültig, ob die Temperaturänderung auf inneren elektrischen oder äußeren nichtelektrischen Einwirkungen beruht. Die Größe der Temperaturabhängigkeit wird durch den Temperaturbeiwert oder Temperaturkoeffizienten (TK) angegeben. Der TK-Wert bezieht sich auf 1 °C Temperaturänderung, wobei als Nennwert eine Temperatur von 20 °C (Zimmertemperatur) zugrunde gelegt wird, z. B. $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ /°C. Die Mehrzahl der Metalle besitzt einen positiven, Kohle einen negativen Temperaturkoeffizienten.

d) Feuchtigkeit kann eine Veränderung des Widerstandswerts hervorrufen, sie bildet unter Umständen einen Nebenschluß, der besonders bei hochohmigen Widerständen wirksam ist, oder sie greift die Oberfläche des Widerstands an.

e) Unabhängig von den vorgenannten Einflüssen kann der Widerstandswert zeitlichen Änderungen unterworfen sein; diese verlieren sich indessen mit der Alterung der Widerstände.

An die Eigenschaft der Widerstandsmaterialien sind folgende Anforderungen zu stellen:

großer spezifischer Widerstand,
kleiner Temperaturbeiwert,
Konstanz des Widerstandswerts bei normaler Erwärmung,
zeitliche Konstanz des Widerstandswerts,
gute mechanische Eigenschaften,
keine Oxydation,
im Wechselstrombetrieb: kleine Eigenkapazität, kleine Selbstinduktion.

Der elektrische Wert des Bauelements Widerstand wird in Ohm angegeben.

1.1 **Widerstände mit festen Widerstandswerten**

1.11 *Schichtwiderstände*

Das Kennzeichen des Schichtwiderstands ist eine aus Material mit hohem spezifischem Widerstand auf einen Tragkörper aufgebrachte Schicht.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Der Widerstandswert der Schichtwiderstände wird durch eine aus einem halbleitenden Gemisch oder aus kristalliner Kohle bestehende Schicht gebildet. Sie ist auf einem zylindrischen Tragkörper aus hochwertigem, keramischem Material, häufig einem Spezialporzellan, eingebrannt. Die Zusammensetzung des Schichtmaterials, Dicke der Schicht und Größe der Fläche bestimmen den Widerstandswert und die Belastung. Um auch bei kleinsten Abmessungen Widerstände mit großen Widerstands-

werten zu erhalten, werden Wendel in die Schicht eingeschnitten. Je nach Breite der Wendel ergibt sich ein um den Porzellankörper in Schraubenlinien verlaufendes kürzeres oder längeres Band. Für bestimmte Zwecke sind indessen Widerstände mit Wendelschnitt ungeeignet. Durch einen Speziallack wird die empfindliche Schicht gegen äußere Einflüsse geschützt. Die Armatur besteht bei den kleineren Formen aus Metallklappen mit innen- oder außenständigen Lötfahnen. Drahtanschlüsse werden entweder senkrecht von der Achse des Tragkörpers oder in Richtung der Achse abgeführt (Bild 1). Bei Widerständen für große Belastungen ist Schellenanschluß üblich.

Hinsichtlich des Schichtmaterials sind drei Arten allgemein gebräuchlicher Schichtwiderstände zu unterscheiden:

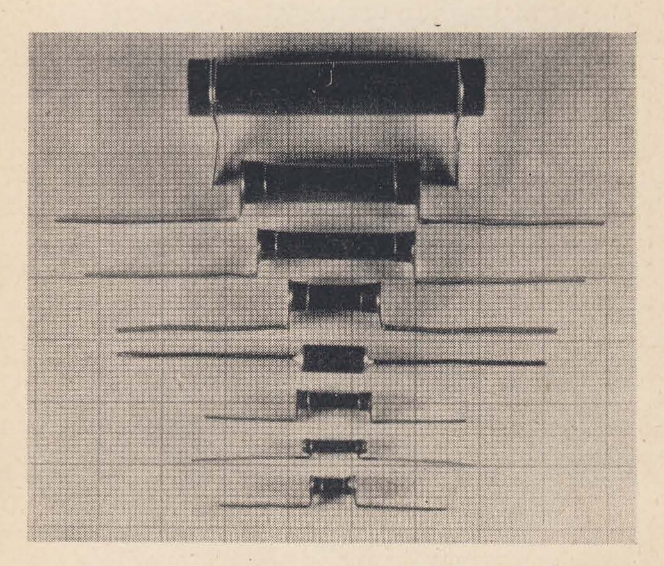


Bild 1: Schichtwiderstände. Hoch- und niederohmige Widerstände für verschiedene Belastung mit gewendelter und ungewendelter Widerstandsschicht, innen- und außenständigen Lötfahnen sowie axialen Anschlußdrähten

a) Gemischwiderstände,
b) Glanzkohlewiderstände,
c) Borkohlewiderstände.

Zu a): Die Schicht besteht aus einem Gemisch, das aus einem schlechten Leiter, Ruß oder Graphit, und einem nichtleitenden Bindemittel, einem Kunstharzlack, zusammengesetzt ist.

Gemischwiderstände sind verhältnismäßig empfindlich gegenüber Feuchtigkeit, Austrocknung und hoher Belastung, insbesondere Stoßbelastung; sie werden meist schon nach wenigen Spannungsstößen zerstört. Trotz der genannten Mängel ist diese Widerstandsart für normale Zwecke der Funktechnik ohne weiteres brauchbar. Sobald jedoch Beständigkeit gegenüber klimatischen Einflüssen, Überbelastbarkeit, hohe Konstanz und Rauscharmut gefordert werden, muß von der Verwendung des Gemischwiderstands abgesehen werden.

Zu b): Die Widerstandsschicht besteht aus kristalliner Glanzkohle, die im Vakuum bei extrem hoher Temperatur auf den Tragkörper aufgebracht wird. Als hervorragende technische Eigenschaften besitzen Glanzkohlewiderstände praktisch unbegrenzte Lebensdauer, hohe zeitliche Konstanz und geringe Spannungsabhängigkeit. Sie sind wenig empfindlich gegen Feuchtigkeit (tropensicher), kurzzeitig hoch überbelastbar und rauscharm. Infolge geringer Selbstinduktion und Kapazität bleiben sie bis zu hohen Frequenzen hinauf nur wenig frequenzabhängig.

Zu c): Die Schicht dieser Widerstände besteht aus Kohle mit Borzusatz. Der auf Mehrstoffbasis entwickelte Widerstand weist als besonderen Vorzug einen sehr geringen Temperaturkoeffizienten auf, er ist negativ und liegt bei Ohmwerten bis 10^4 bei $1 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-5}$ /°C, also eine Zehnerpotenz tiefer als der von Glanzkohlewiderständen mit dem TK-Wert $1 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$ /°C. Weitere wertvolle Eigenschaften des Borkohlewiderstands sind spezifisch hohe Flächenbelastbarkeit (sie beträgt 0,4 bis 0,45 W/cm² gegenüber 0,2 bis 0,25 W/cm² beim Glanzkohlewiderstand), sehr hohe zeitliche Konstanz, geringes Rauschen und große Feuchtigkeitsbeständigkeit.

Spezialentwicklungen von Festwiderständen:

U K W - S c h i c h t w i d e r s t ä n d e — Sie sind weitgehend frequenzunabhängig und daher für das gesamte UKW-Gebiet geeignet.

Die Schicht wird in einem Spezialverfahren im Vakuum aufgelegt und eingebrannt; hierdurch ist eine gute Homogenität der Schicht gewährleistet. Man fertigt UKW-Widerstände ungewendelt, da sie induktionsfrei und kapazitätsarm sein müssen. An den Widerstandsenden werden durch Aufbrennen von Leitsilber einwandfreie Kontaktflächen geschaffen, die eine optimale elektrische Verbindung zwischen Kohleschicht und Anschlußarmatur herstellen.

UKW-Schichtwiderstände gehören den Güteklassen 0,5 (Toleranz ± 1 Prozent), 1 (± 5 Prozent bzw. eingeengt ± 2 Prozent und ± 1 Prozent) und 5 (± 10 Prozent bzw. eingeengt ± 5 Prozent) an. Das Spektrum der Widerstandswerte umfaßt den Bereich von 1 Ohm bis 2 kOhm, die Nennlasten liegen zwischen 0,1 und 200 Watt. Widerstände der Klasse 0,5 sind nur mit halber Nennlast in Betrieb zu nehmen.

H o c h o h m - S c h i c h t w i d e r s t ä n d e — Außer den hochohmigen Schichtwiderständen der DIN-Reihe werden Widerstände auf Glanzkohlebasis mit Ohmwerten von 4, 6, 8 und 10 MOhm der Güteklasse 2 mit einer Auslieferungstoleranz von ± 2 Prozent und ± 1 Prozent in 0,25- bis 2-Watt-Ausführung hergestellt. — Diese Widerstände unterliegen den Prüfbedingungen nach DIN 41 400.

H o c h o h m - K o l l o i d - K l e i n s t w i d e r s t ä n d e — Diese Widerstände werden im Kolloid-Verfahren hergestellt. Die Kolloid-Kohleschicht ist auf einem Spezial-Keramikkörper aufgetragen. Nach Härtung wird sie durch eine Wendel auf den gewünschten Wert gebracht. Die Abmessungen des Widerstands betragen beim 0,05-Watt-Körper 8 · 2,4 mm, beim 0,1-Watt-Körper 12 · 2,4 mm. Serienmäßig werden Widerstandswerte zwischen 1 und 10 MOhm gefertigt. Auslieferungstoleranzen: ± 20 Prozent ± 10 Prozent. — Diese Kleinstwiderstände werden durch Punkte nach der DIN-Farbtabelle gekennzeichnet. Das Anwendungs-

gebiet ist der Einbau in Kleinstgeräten, z. B. in Transistorenempfängern und Hörhilfen.

Höchstohm-Widerstände $5 \cdot 10^6$ bis $1 \cdot 10^{10}$ Ohm — Der Aufbau dieser Widerstände entspricht dem der Hochohm-Widerstände. Die serienmäßigen Widerstandswerte liegen zwischen 5 und 10 000 MOhm; die Auslieferungstoleranz beträgt ± 20 Prozent. Belastbar sind diese Bauelemente mit 500, 750 bzw. 1000 Volt.

Höchstohm-Widerstände 10^{10} bis 10^{12} Ohm, die ebenfalls im Fertigungsprogramm der Bauelemente-Industrie der DDR liegen, sind für den Funktechniker von untergeordneter Bedeutung; sie finden in der Kerntechnik Verwendung.

Außer Schichtwiderständen auf Kohlebasis werden auch Widerstände mit Metallschichten hergestellt, und zwar für spezielle Zwecke der Nachrichtentechnik, wo sie als Dämpfungs-, Absorber- und Abschlußwiderstände dienen.

Im folgenden einige Worte zu dem modernen Fertigungsverfahren für Kohleschicht-Widerstände. Auf automatischem Wege werden die Widerstandskörper in das Innere eines Hochbrandofens transportiert, in dem eine Temperatur von 1050 °C herrscht. Durch Bekohlen (Niederschlag von Heptan, einem Kohlenwasserstoff) bildet sich auf dem Widerstandskörper eine fest haftende Schicht. Je nach der geforderten Dicke beträgt die notwendige Bekohlungszeit den Bruchteil einer Stunde oder bis zu 24 Stunden. Nach Abkühlung erfolgt das Kontaktieren. An beiden Enden des Widerstands trägt man mit einer automatischen Vorrichtung die Kontaktmasse auf.

Im Lackaufrollautomaten erhalten die Widerstände eine Schutzlackierung, die durch Infrarotstrahlung getrocknet wird. Danach werden sie bekappt, elektrisch geprüft und nach Widerstandswerten sortiert. Nach einer mehrwöchigen Alterung erfolgt, soweit erforderlich, das Einschleifen einer Wendel. Zuletzt wird der Widerstand in einer Großlackieranlage lackiert und in einem Infrarot-Trockentunnel getrocknet. Ein Stempel-Halbautomat besorgt die erforderliche Kennzeichnung.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Schichtwiderstände mit festen Widerstandswerten sind mit der Klassenbezeichnung 0,5 — 2 — 5 — 7 — 15 genormt. Durch diese wird neben der Auslieferungstoleranz die zulässige prozentuale Änderung des Widerstandswerts bei Lagerung und Belastung gegeben.

Für Schichtwiderstände bis 20 Watt Nennlast*) sind die technischen Daten in den Bestimmungen der DIN-Blätter 41 400 bis 41 408 festgelegt.

Im folgenden werden die in DIN 41 400 festgelegten Eigenschaften, Prüfverfahren und Prüfbewertungen erläutert.

Nennlast:
0,25 — 0,5 — 1 — 2 — 3 — 6 — 10 — 20 Watt.

Auslieferungstoleranz:

Klasse	0,5	2	5	7	
normal	± 1%	± 5%	± 10%	± 10%	Abweichung
eingeengt	—	± 2%			vom
		± 1%	± 5%	± 5%	Nennwert

Höchstspannungen:

Nennlast:		0,25	0,5	1	2	3	6	10	20 Watt.
Höchstzulässige Betriebsdauerspannung	V	500	750	750	1000	1500	1500	5000	10000
Höchstzulässige Prüfspannung bei Über- und Stoßlast	V				2000			nicht festgelegt	

Temperaturbeiwert:

TK in 10^{-3} je °C

	Klasse			
	0,5	2	5	7
bis 1 M	0...—0,5	0...—1	0...—1	0...—1,5
über 1 M bis 3 M	0...—0,5	0...—1,5	0...—1,5	0...—2

*) Dauerlast, bei der der Widerstand, waagerecht frei aufgehängt, an dem wärmsten Punkt eine Oberflächentemperatur von höchstens 110 °C, gemessen bei 20 °C Raumtemperatur, erreicht. Die Oberflächentemperatur von 110 °C — gemessen mit Testsalzen — darf im Betrieb im allgemeinen nicht überschritten werden. Widerstände der Klasse 0,5 sind aus Konstanzgründen nur mit der halben Nennlast zu betreiben.

Bei den Klassen 0,5 — 2 — 5: für jede Temperatur zwischen — 50 °C und + 100 °C; bei Klasse 7: Mittelwert zwischen — 50 °C und + 100 °C.

Zum Verständnis der Tafel „Zulässige Widerstandsänderung", d. i. die prozentuale Abweichung vom Istwert, sind einige Begriffe zu erläutern, die das Prüfverfahren betreffen:

Lagerung — Nach 5000 Stunden Lagerung unbelastet bei 20 ± 5 °C und 60 ... 70 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit.

Belastung — Belastung mit der Nennlast während 5000 Stunden — bei Klasse 0,5 mit halber Nennlast — bei waagerechter Aufhängung und einer Umgebungstemperatur von 20 °C; Messung des Widerstandswerts nach Abkühlung auf 20 °C.

Stoßbelastung — Nach Belastung mit 25facher Nennlast — bei Klasse 0,5 mit 12,5facher Nennlast — für die Dauer von einer Sekunde, waagerecht frei aufgehängt bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C, 10 000 Schaltungen mit Abkühlungspausen von je 25 Sekunden unbelastet, Messung des Widerstandswerts frühestens 12 Stunden nach Beendigung der Prüfung bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C.

Überlastung — Bei Belastung mit der doppelten Nennlast — bei Klasse 0,5 mit einfacher Nennlast — für die Dauer von einer Minute, waagerecht frei aufgehängt bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C, 10 000 Schaltungen mit Abkühlungspausen von je einer Minute unbelastet; Messung des Widerstandswerts frühestens 12 Stunden nach Beendigung der Prüfung bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C.

Zulässige Widerstandsänderung (Abweichung vom Istwert in Prozent):

Klasse	0,5	2	5	7
bei Lagerung	± 0,1 %	± 2 %	± 5 %	± 7%
bei Belastung	± 0,4 %			
bei Stoßbelastung	± 0,25%	± 0,25%	± 0,5%	± 1%
bei Überlastung	± 0,25%	± 0,25%	± 0,5%	± 1%

Serienmäßige Widerstandswerte:

Auslieferungstoleranz	± 20 %	± 10 %		± 5 % und kleiner			
Reihe	E 6	E 12		E 24			
Widerstandswerte	1,0	1,0	1,2	1,0	1,1	1,2	1,3
	1,5	1,5	1,8	1,5	1,6	1,8	2,0
	2,2	2,2	2,7	2,2	2,4	2,7	3,0
	3,3	3,3	3,9	3,3	3,6	3,9	4,3
	4,7	4,7	5,6	4,7	5,1	5,6	6,2
	6,8	6,8	8,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Die Widerstandswerte kann man mit ganzen Potenzen von 10 erweitern.

Schichtwiderstände mit Werten kleiner als 4,7 Ohm werden nicht in Serie gefertigt.

Die Kennzeichnung erfolgt durch einen Aufdruck. Es sind angegeben:

Widerstandswert (Ω, kΩ, MΩ);
Güteklasse, soweit die Widerstände den Klassen 0,5 oder 2 angehören;
Toleranz (%) nur eingeengte Toleranz;
Hersteller oder Firmenzeichen.

Widerstände bis zu 0,1 W werden wegen ihrer Kleinheit mit Farbpunkten gekennzeichnet. Es gilt der Internationale Farbcode, sofern nicht der Hersteller einen eigenen Kennzeichnungsschlüssel anwendet, wie das z. B. bei den WBN-Widerständen des Werkes für Bauelemente der Nachrichtentechnik „Carl von Ossietzky“, Teltow, der Fall ist.

Internationaler Kennzeichnungsschlüssel

	1. u. 2. Punkt	3. Punkt	4. Punkt
Farbe	1. u. 2. Ziffer	Zahl der Nullen	Toleranz in %
schwarz	0	0	—
braun	1	1	1
rot	2	2	2
orange	3	3	
gelb	4	4	
grün	5	5	
blau	6	6	
violett	7	7	
grau	8	8	
weiß	9	9	
gold			5
silber			10
ohne Farbe			20

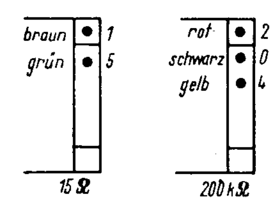


Bild 2. Beispiele für die Farbcode-Kennzeichnung von Widerständen

In Bild 2 ist das Schema dargestellt. Gegebenenfalls wird als 1. Farbpunkt der Widerstandskörper, als 2. Farbpunkt eine Kappe benutzt. Der 3. Punkt wird auf dem Widerstandskörper angebracht und zur Kennzeichnung der Toleranz die 2. Kappe verwendet.

Der WBN-Code unterscheidet sich vom Internationalen Kennzeichnungsschlüssel durch eine andere Markierung der Toleranzen, die wie folgt ausgeführt ist:

1 Goldpunkt	± 1 %
2 Goldpunkte	± 2 %
1 Silberpunkt	± 5 %
2 Silberpunkte	± 10 %
ohne Markierung	± 20 %

WBN kennzeichnet Widerstände der Güteklasse 0,5 zusätzlich mit einem Goldpunkt. Widerstände für Kurzwellenzwecke erhalten die Zusatzkennzeichnung „KW". Glanzkohlewiderstände aus der Fertigung des WBN sind mit einer grünen, Borkohlewiderstände mit einer roten Decklackierung versehen.

Für einen schnellen Überblick über zulässige Stromstärken und Spannungen bei den einzelnen Belastungsgrößen und Widerstandswerten sind auf Seite 102 entsprechende Tafeln wiedergegeben.

Anwendung, Fehlerermittlung — Schichtwiderstände werden in funktechnischen Schaltungen häufig eingesetzt, z. B. als Ableitwiderstand, Arbeitswiderstand, Siebwiderstand, Sperrwiderstand, Dämpfungswiderstand, Belastungswiderstand, Vorwiderstand.

In der Regel ist es möglich, in einer Schaltung den Widerstandswert zu ermitteln und einen schadhaften Widerstand festzustellen. Andernfalls erfolgt eine Prüfung mit Widerstandsmeßbrücke oder Leitungs-

prüfer. Häufig wird ein schadhafter Widerstand an dem stark verfärbten oder gar verbrannten Lacküberzug erkannt; dies ist jedoch kein absolutes Kriterium für einen Defekt. Nicht immer muß eine vollständige Unterbrechung der Schicht vorhanden sein; der Ohmwert kann durch eine stellenweise Unterbrechung der Widerstandsschicht oder, sofern nicht eine vollständige Kontaktunterbrechung zu den Anschlußkappen vorliegt, durch nicht ganz einwandfreie Kontaktierung der Anschlußkappen verändert (vergrößert) werden. Es sei darauf hingewiesen, daß Widerstandsdefekte meist auf einen im Stromkreis liegenden, durchgeschlagenen Kondensator zurückzuführen sind (Bild 3).

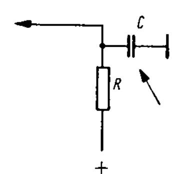


Bild 3. Der durchgeschlagene Kondensator C kann eine Zerstörung des Widerstands R verursachen

Die Berechnung eines Widerstands geschieht nach dem Ohmschen Gesetz; U ist die am Widerstand abfallende Spannung in Volt und I der durch den Widerstand fließende Strom in Ampere. Für die Bestimmung der Belastbarkeit gilt die Leistungsformel $N = U \cdot I$. Selbstverständlich muß hier die am Widerstand abfallende Spannung eingesetzt werden, nicht etwa die am Widerstand liegende Spannung gegen Masse. Weiter ist hinsichtlich der Stromstärke zu beachten, ob außer der vorhandenen Gleichstrombelastung ein hinter dem Widerstand liegender Kondensator Wechselstrom nach Masse abfließen läßt. In diesem Falle muß der Widerstand für die entsprechende Belastung dimensioniert sein. Es folgt ein Rechenbeispiel für die Bestimmung der Größe eines Katodenwiderstandes:

Der durch den Katodenwiderstand R_K fließende Strom betrage 40 mA, die an der Röhrenkatode liegende Spannung sei 6 V

$$R = U : I = 6 : 0{,}040 = 600 : 4 = 150 \text{ Ohm};$$
$$N = U \cdot I = 6 \cdot 0{,}040 = 0{,}24 \text{ Watt}.$$

Aus Sicherheitsgründen ist ein 0,5-Watt-Widerstand zu verwenden.

Bei Spannungsmessungen an Widerständen ist der Eigenwiderstand des Meßinstruments zu berücksichtigen. Dieser kann das Meßergebnis erheblich verfälschen. In Industrieschaltbildern finden sich stets Angaben über den Eigenwiderstand des Spannungsmessers, auch sind die Meßbereiche angegeben, auf denen die Messungen vorzunehmen sind.

1.12 *Massewiderstände*

Der Massewiderstand ist ein aus einem Gemisch von kleinsten Partikeln leitfähigen Materials und einem isolierenden Bindemittel geformter Widerstand. Er unterscheidet sich in seinem Aufbau also ganz wesentlich vom Schichtwiderstand, der fälschlicherweise häufig auch als Massewiderstand bezeichnet wird.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Im Gegensatz zu den Schichtwiderständen wird bei den Massewiderständen der Querschnitt der Vollkörper zur Stromleitung benutzt. Diese sind auf verbundkeramischer Basis im Sinterverfahren hergestellt. Die bis zu feiner Pulverform zerkleinerten Massen werden innig vermischt und verpreßt. Nach dem Trocknen erfolgt die Sinterung. Die Hauptbestandteile der Masse sind verschiedene Metalloxyde und gelegentlich auch Kohlenstoffe. An den Stirnflächen werden zur Kontaktgabe Drähte mit einer korrosionsbeständigen, leitenden Masse angesintert. Gegen äußere Einflüsse ist das Bauelement durch eine Silikon-Lackschicht geschützt (Bild 4).

Die Belastbarkeit der Massewiderstände ist bei gleichen Dimensionen größer als bei Schichtwiderständen, jedoch sind Spannungsabhängigkeit und Temperaturkoeffizient größer als bei diesen.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Massewiderstände sind nicht genormt.

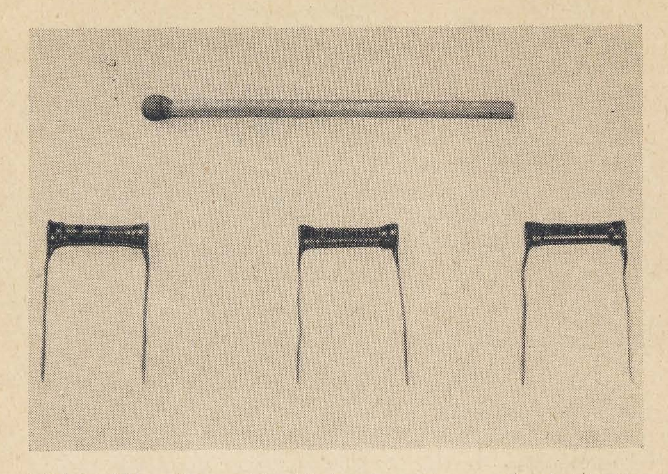


Bild 4. Mikro-Massewiderstände; am oberen Rand ist die Farbkennzeichnung angedeutet

Nachfolgend die technischen Daten eines in der DDR hergestellten Mikrowiderstands:

Abmessungen	$7 \cdot 1{,}3$ mm
Widerstandswerte	125 Ohm ... 1 MOhm in 36 Ohmwerten
Widerstandstoleranz	$\pm 20\,\%$
Belastung	0,1 W
Temperaturbeiwert	$1 \cdot 10^{-3}$ bis $2 \cdot 10^{-3}/°C$
Spannungsabhängigkeit	$\leqq 1\,\%$
maximale Betriebsspannung	100 V

Die Widerstände unterliegen den Prüfbedingungen der Klasse 7 nach DIN 41 400.

Anwendung — Das Anwendungsgebiet des Massewiderstands ist im wesentlichen das gleiche wie beim Schichtwiderstand. Vorwiegend findet er heute jedoch in der Kleinstgerätetechnik (Transistoren-Empfänger, Hörhilfen) Verwendung.

1.13 *Drahtwiderstände*

Das Kennzeichen des Drahtwiderstands ist ein drahtförmiger metallischer Leiter mit einem verhältnismäßig großen spezifischen Widerstand.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Die Mehrzahl der in der Funktechnik verwendeten Drahtwiderstände ist einlagig auf einen zylindrischen Tragkörper aus keramischem Material gewickelt. Für hochbelastbare Drahtwiderstände werden wegen der die Wärmeableitung begünstigenden „Schornsteinwirkung" Hohlzylinder bevorzugt (Bild 5).

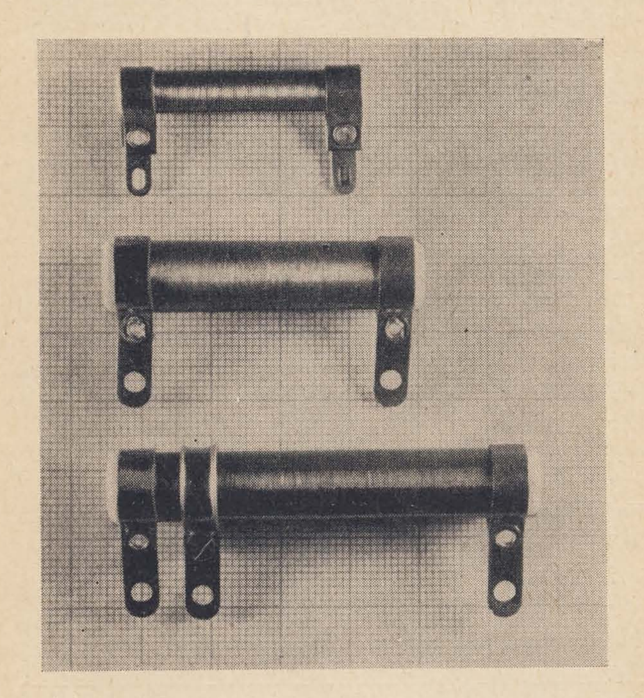


Bild 5. Drahtwiderstände

Als Wickelmaterial dient, je nach Güteklasse und Widerstandswert, Konstantan- oder Chromnickeldraht, der blank oder oxydiert verarbeitet wird. Die Wicklung ist normalerweise als Eindrahtwicklung (unifilar) ausgeführt. Diese Wickelart weist eine relativ große Selbstinduktion auf; die Kapazität ist gering. Kleinere

Induktivitätswerte sind mit der Zweidrahtwicklung (bifilar) zu erreichen. Zum mechanischen Schutz der Drahtwicklung wird, vornehmlich bei dünnen Drähten, eine stoß- und wärmefeste Lackschicht aufgetragen.

Für Sonderzwecke wurden emaillierte, glasierte und zementierte Drahtwiderstände entwickelt. Diese vertragen erheblich größere Belastungen als Widerstände gleicher Größe in normaler Ausführung. Widerstände dieser Sonderausführung können bis zu 500 W belastet werden; sie nehmen dabei u. U. Temperaturen von 400 °C und darüber an.

Die Anschlußarmatur der Drahtwiderstände entspricht der bei Schichtwiderständen üblichen. Einige Typen werden mit festen oder veränderbaren Abgriffsschellen hergestellt.

Die Herstellung der Drahtwiderstände ist unkompliziert; sie geschieht mit halb- oder vollautomatisch arbeitenden Wickelmaschinen.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Drahtwiderstände mit festen Widerstandswerten haben die genormten Klassenbezeichnungen 0,5 und 2.

Für Widerstände bis 50 Watt Nennlast*) sind die technischen Daten in den Bestimmungen der DIN-Blätter 41 410 bis 41 423 festgelegt.

Nachfolgend die nach DIN 41 410 geforderten Eigenschaften, Prüfverfahren und Prüfbewertungen:

Nennlast

0,5 — 1 — 2 — 4 — 6 — 12 — 25 — 50 Watt

Auslieferungstoleranz

Klasse	0,5	2	
eingeengt normal	±2% ±1% ±5%	± 5% ±10%	Abweichung vom Nennwert

Temperaturbeiwert

Klasse	0,5	2	
TK in 10^{-3} je °C	0,1	1	zwischen 20 °C und 150 °C

---

*) In bezug auf Drahtwiderstände ist zu beachten, daß die Oberflächentemperatur im Einsatz 170 °C nicht überschreiten darf.

Die Bauelemente-Industrie unserer Republik fertigt Drahtwiderstände mit folgenden Temperaturkoeffizienten:

Konstantandraht-Widerstände (Klasse 0,5) $\pm 0{,}03 \cdot 10^{-3}/°C$,
Chromnickeldraht-Widerstände (Klasse 2) $\pm 0{,}2 \cdot 10^{-3}/°C$.

Zulässige Widerstandsänderung (Abweichung vom Istwert in Prozenten)

Klasse	0,5	2
bei Lagerung	±0,5%	±2%
Belastung	±0,5%	±2%
Überlastbarkeit		
bei 20 °C Raumtemperatur	≦170 °C	≦170 °C
2mal Nennlast 60 s		
4mal Nennlast 20 s		
8mal Nennlast 10 s		

Serienmäßige Widerstandswerte (ohne Berücksichtigung der Klasseneinteilung):

	1	1,25	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
Ohm	10	12,5	16	20	25	30	40	50	60	80
	100	125	160	200	250	300	400	500	600	800
	1	1,25	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
kOhm	10	12,5	16	20	25	30	40	50	60	80
	100									

Die Kennzeichnung der Drahtwiderstände geschieht auf der Wicklung (bei dicken Drähten), bei lackierter Ausführung auf der Lackschicht, der Schelle oder einer Kappe. Kleine Widerstände tragen die Angaben auf einem Reißstreifen. Angegeben werden: Widerstandswert, Toleranz in Prozent bei Widerständen mit eingeengter Toleranz und Herstellerwerk oder Fabrikzeichen.

Anwendung — Drahtwiderstände setzt man hauptsächlich dort ein, wo große Belastbarkeit gefordert werden muß. Sie können indessen nur in Ausnahmefällen in funktechnischen Schaltungen den Schichtwiderstand ersetzen! Dort finden Drahtwiderstände Verwendung, und zwar als Vorwiderstand im Heizkreis von Allstromgeräten, in der gemeinsamen Minusleitung zur Erzeugung von Gittervorspannungen, als Spannungsteiler in Netzgleichrichtern u. a.

Unter Umständen erforderliche geringere Widerstandswerte können durch vorsichtige Entnahme von Windungen geschaffen werden. Hierbei ist zu beachten, daß sich damit auch die Nennlast verringert. Das freie Drahtende muß gegebenenfalls vor der Verlötung von der Oxydationsschicht befreit werden.

1.2 Regelbare Widerstände

Das Merkmal des Regelwiderstands ist die kontinuierliche (stetige) Veränderung des Widerstandswertes innerhalb gegebener Grenzen durch eine Schiebe- oder Drehbewegung. Es können sowohl beliebige Widerstandswerte eingestellt als auch Teilspannungen abgegriffen werden. Diese regelbaren Spannungsteiler werden auch als Potentiometer bezeichnet.

Im folgenden werden nur Drehwiderstände behandelt, da Schiebewiderstände in funktechnischen Geräten nicht üblich sind.

1.21 *Schichtdrehwiderstände*

Der Widerstandswerkstoff ist als leitende Schicht auf einem nichtleitenden Träger aufgebracht.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften — Als Widerstandsschicht dient eine auf Lackbasis (Lack-Kohlenstoff-Gemisch) hergestellte, auf der Oberfläche gut geglättete leitende Schicht in Form eines an einer Stelle unterbrochenen Kreisringes. Die Schicht ist auf einen Hartpapierkörper, der Widerstandsplatte, durch Drucken, Spritzen oder Streichen aufgetragen. Bei nichtlinearen Reglern wird die Widerstandsbahn durch mehrere Abschitte mit verschiedenem spezifischem Widerstand gebildet. Die Kontaktabnahme auf der Widerstandsbahn geschieht durch einen drehbaren Arm, kurz als Schleifer bezeichnet, dessen stromführende oder isolierte Drehachse durch den Mittelpunkt der Widerstandsplatte führt. Da die Widerstandsbahn durch Reibung des Schleifkontakts erheblicher mechanischer Beanspruchung unterliegt, wird der Kontaktabnehmer bei hochwertigen Reglern in der Schleiffeder mit einem kleinen Pimpel aus Kontaktkohle mit balliger oder schneideförmiger Auflagestelle versehen, dessen Härte und Auflagedruck der Kon-

sistenz der Widerstandsbahn angepaßt sind. Des weiteren ist die Übertragung vom Schleifer nach dem Mittelanschluß des Bauelements (Schleiferlötfahne) wichtig; einwandfreie Kontaktgabe und Vermeidung eines Übergangswiderstands zwischen Führungsbuchse und Drehachse werden durch aufeinandergleitende Formteile aus veredeltem Metall gewährleistet. Hiermit vermeidet man das „Drehrauschen“, ein im Lautsprecher wahrnehmbares Geräusch bei der Betätigung des Reglers.

Die Anschlüsse zur Widerstandsbahn sind Lötfahnen, die mit E = Endlötfahne, S = Schleifer und A = Anfangslötfahne bezeichnet sind. Die Reihenfolge verläuft bei Betrachtung von der Befestigungsbuchse bzw. der Drehachse aus im Uhrzeigersinn. Eine Erdlötfahne ist bisweilen bei metallisch abgeschirmten Drehwiderständen vorgesehen.

Bei normalem Gebrauch dürfen keine wesentlichen Änderungen sowohl des Widerstandswertes als auch der Kurvenform durch Drehbewegung der Achse, Strombelastung, Temperatur und Feuchtigkeit auftreten.

Die Regelkurve (Regelkennlinie), die die Abhängigkeit des Widerstandswertes vom Drehwinkel darstellt, ist dem Verwendungszweck entsprechend ausgebildet. Die lineare oder arithmetische Kurve wird durch den proportionalen Verlauf der Widerstandsänderung mit dem

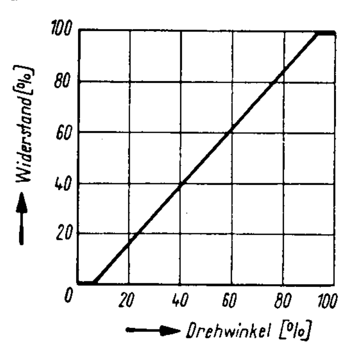


Bild 6. Lineare Regelkurve

Drehwinkel gekennzeichnet (Bild 6). Wenn die logarithmische Empfindlichkeitskurve des Gehörs eine

analoge Regelcharakteristik verlangt, z. B. bei der Lautstärkeregelung des Empfängers, werden Regler mit logarithmischer (exponentieller) Kennlinie verwendet. Hierbei ist zwischen positiv-logarithmischer und negativ-logarithmischer Kurve zu unterscheiden (Bild 7 und 8). Beim positiv-logarithmischen Regler nimmt der Widerstandswert erst wenig, dann stark zu; beim negativ-logarithmischen Regler sind die Verhältnisse umgekehrt.

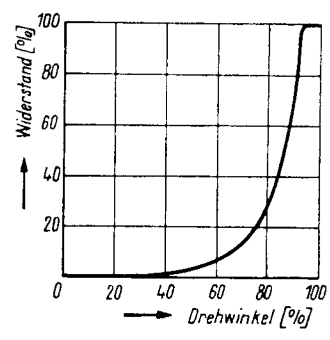


Bild 7. Positiv-logarithmische Regelkurve

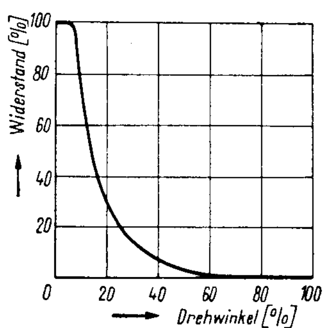


Bild 8. Negativ-logarithmische Regelkurve

Für die „gehörrichtige“ (physiologische) Lautstärkeregelung werden positiv-logarithmische Potentiometer mit einem festen Abgriff bei etwa 25 Prozent des Gesamtwiderstands gefertigt.

Schichtdrehwiderstände sind im allgemeinen in einem Metallgehäuse eingebaut. Diese Abschirmung verhin-

dert die Einwirkung von Störfeldern, die zu Brummerscheinungen Anlaß geben können. Potentiometer sind meist für Einlochbefestigung bestimmt. Bei einigen Typen geschieht die Montage durch einen Gewindebolzen; für gedruckte Schaltungen sieht man spezielle Befestigungsvorrichtungen vor.

Häufig wird das Potentiometer mit einem Netzschalter verbunden. Dieser ist meist ein Drehschalter, den man in eine mit dem Regler verbundene Isolierstoffkapsel einbaut. Die gelegentlich noch verwendeten Schiebeschalter (Zug-Druck-Schalter) sind für Amateure und Bastler besonders interessant, da diese Schalter auch andere Schaltmöglichkeiten zulassen, z. B. als Sprache-Musik-Schalter, Baßschalter u. a. m.

Sofern nicht eine getrennte Klangregelung durch zwei im Empfangsgerät getrennt eingebaute Regler angestrebt wird, ist die Kombination von zwei Regeleinheiten zum Doppelregler üblich (Bild 9). Die beiden

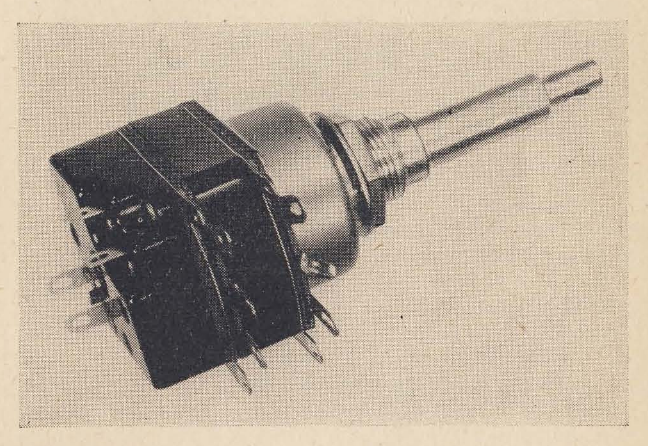


Bild 9. Doppel-Potentiometer mit Drehschalter

meist gegeneinander abgeschirmten Widerstände sind getrennt regelbar; über die Hohlachse wird im allgemeinen der Klangregler, über die Innenachse der Lautstärkeregler betätigt.

Für Spezialzwecke wurden Tandem-Potentiometer entwickelt. Die Regelung der hintereinander angeordneten Widerstände erfolgt über eine gemeinsame Achse.
Für Kleinstgeräte, z. B. Transistorempfänger und Hörhilfen, finden Miniatur-Schichtdrehwiderstände (Dmr. 16 mm) und Klein-Schichtdrehwiderstände (Dmr. 19 mm) Verwendung (Bild 10).

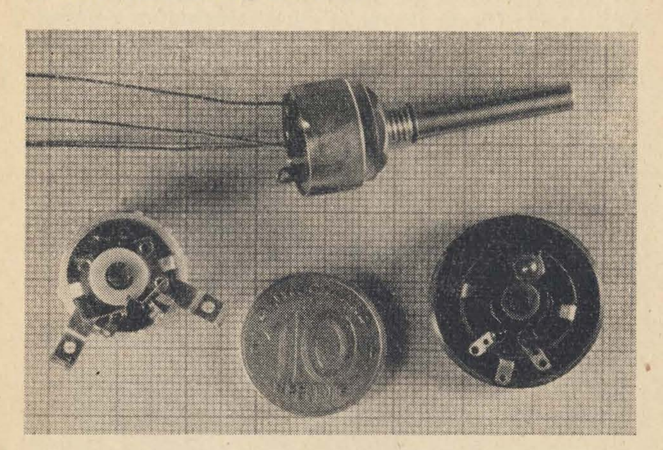


Bild 10. Miniatur-Schichtdrehwiderstand

Einstellregler (Trimmerwiderstände) werden für eine einmalige Regelung benutzt; für eine Dauerregelung sind sie nicht geeignet. Wegen ihres geringen Gewichts von nur 1 g können sie unter Umständen freitragend eingebaut werden (Bild 11).
Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Schichtdrehwiderstände sind für Nennlasten bis 2 Watt nach DIN 41 450 genormt, eine Klasseneinteilung ist nicht erfolgt, sondern nur eine Größeneinteilung.
Im folgenden werden die wichtigsten Bestimmungen erläutert.
Auslieferungstoleranz:

Gesamtwiderstandswert	Auslieferungstoleranz
<5 MOhm	$\pm 20\,\%$
5 MOhm	$\pm 30\,\%$
10 MOhm	$+30\,\%$ $-50\,\%$
16 MOhm	$+50\,\%$ $-30\,\%$

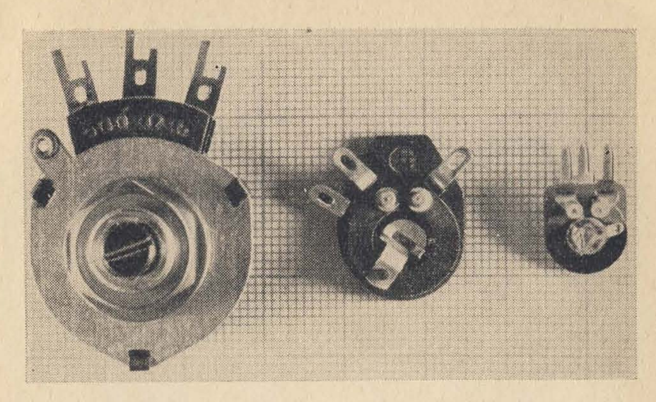


Bild 11. Einstellregler (Flachtrimmer)

Größe und Nennlast:

Größe, Richtmaß	4 (30 mm Dmr.)	8 (40 mm Dmr.)	20 (45 mm Dmr.)
Nennlast in Watt bei linearer Regelkennlinie	0,4	0,8	2
Nennlast in Watt bei nicht linearer Regelkennlinie	0,2	0,4	1

Drehbereich:

Gesamtdrehbereich 270° ± 10°. Zur Betätigung des Drehschalters ist ein maximaler Drehwinkel von 50° zulässig.

Bei Verringerung des Gesamtwiderstands vermindert sich auch die Belastbarkeit im Verhältnis des eingestellten Widerstands zum Gesamtwiderstand. Bei logarithmischen Kurven ist zu beachten, daß der abgegriffene Widerstandswert dem Drehwinkel nicht verhältnisgleich ist.

Höchstzulässige Betriebsspannung:

Nennlast in Watt	0,2	0,4	0,8	1	2
höchstzulässige Betriebsspannung n Volt	150	200	300	350	500

Temperaturbeiwert:

$R_g \leqq 1$ MOhm $\pm 3 \cdot 10^{-3}$ je °C

Mittelwert zwischen
— 50 °C und + 70 °C

$R_g > 1$ MOhm $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ je °C

Zulässige Widerstandsänderung (Abweichung vom Ist-Wert in Prozent):

bei Lagerung*)		± 5 %
bei Belastung*)	$R_g <$ 0,5 MOhm	± 15 %
	$R_g \geqq$ 0,5 MOhm	± 20 %
bei Dauerdrehprüfung bei	$R_g <$ 100 kOhm	± 5 %
10 000 Doppelwegen	$R_g \geqq$ 100 kOhm	± 10 %

Kennlinienform —

Form 1: linear

Form 2: logarithmisch

positiv logarithmisch

negativ logarithmisch

Kennlinienverlauf —

Der Verlauf der Kennlinie wird durch eine Meßpunktfolge dargestellt. Gemessen werden Widerstandswerte zwischen der Anfangslötfahne A und der Schleiferlötfahne S.

Anfang und Ende der Kennlinie —

Diese Werte werden durch Drehung der Schleiferachse im Uhrzeigersinn, von der Befestigungsbuchse aus gesehen, über den Weg Anfang — Ende bestimmt.

Gesamtwiderstand R_g —

Dieser Widerstand liegt, bei Anschlagstellung des Schleifers am niederohmigen Ende der Widerstandsbahn, zwischen der Anfangslötfahne A und der Endlötfahne E.

Zum Verständnis des Diagramms (Bild 12) werden im folgenden die eine Regelkennlinie charakterisierenden Begriffe erläutert:

---

*) Siehe Seite 15.

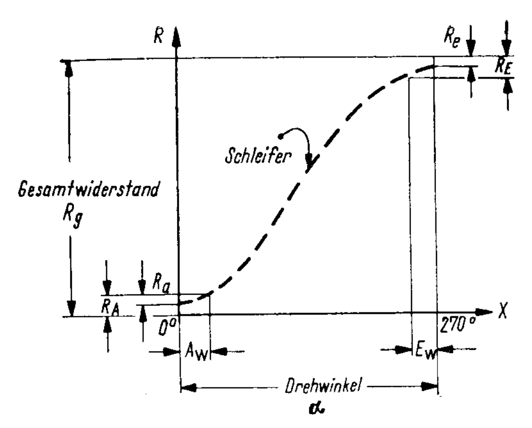


Bild 12. Regelkennlinie eines Potentiometers

Anfangsanschlagwert R_a —

Widerstand zwischen der Anfangslötfahne A und der Schleiferlötfahne S in Anfangsstellung des Schleifers

$$\text{lin: } R_a \leqq \frac{1}{5} R_A; \qquad \text{log: } R_a = R_A.$$

Endanschlagwert R_e —

Widerstand zwischen Endlötfahne E und Schleiferlötfahne S in Endstellung des Schleifers

$$\text{lin: } R_e \leqq R_E; \qquad \text{log: } R_e \leqq R_E.$$

Anfangsspringwert R_A —

Widerstand, der nach Zurücklegen des Anfangsweges zwischen Anfangslötfahne A und Schleiferlötfahne S liegt

$$\text{lin: } R_a \leqq \sqrt{R_g}; \qquad \text{log: } R_A \leqq \frac{1}{4} \sqrt{R_g}.$$

Endspringwert R_E —

Widerstand, der zu Beginn des Endweges zwischen der Schleiferlötfahne S und der Endlötfahne E liegt

$$\text{lin: } R_E \leqq \sqrt{R_g}; \qquad \text{log: } R_E \leqq 5\,\%\ R_g.$$

Anfangsweg A_w —

Weg, den der Schleifer zurücklegt, um vom Anschlag auf die stetige Regelbahn zu gelangen (maximal 15°).

Endweg E_w —

Weg, den der Schleifer nach Verlassen der stetigen Regelbahn bis zum Anschlag zurücklegt (maximal 20°).

Stetigkeitsbedingungen —

Die Kurve soll stetig verlaufen. Ihre größte und kleinste Steilheit ist bestimmt durch den Winkel α. Es gelten folgende Beziehungen:

$$\tan \alpha \max = 2{,}65 \frac{R_g - R_A}{D_s}$$

$$\tan \alpha \min = \frac{1}{2{,}65} \cdot \frac{R_g - R_A}{D_s};$$

R_g = Gesamtwiderstand [Ω],
R_A = Anfangsspringwert [Ω],
D_s = Drehbereich in Bogengrad [°].

Alle Größen werden als geometrische Längen im Zeichnungsmaßstab dargestellt.

Serienmäßige Wiederstandswerte:

lin 1 — 2,5 — 5 — 10 — 25 — 50 — 100 — 250 — 500 kOhm
1 — 2,5 — 5 MOhm

log 1 — 2,5 — 5 — 10 — 25 — 50 — 100 — 250 — 500 kOhm
1 — 2,5 — 5 MOhm

Die Kennzeichnung der Schichtdrehwiderstände erfolgt durch Aufdruck oder Einprägung. Es werden angegeben: Widerstandswert in Ω, kΩ oder MΩ, Größe: 4, 8 oder 20, Kennlinienform: lin oder log.

Anwendung, Fehlerermittlung — In funktechnischen Schaltungen werden Schichtdrehregler zur Lautstärke- und Klangregelung verwendet. In diesen Fällen sind nur Potentiometer mit logarithmischer Kennlinie geeignet. Infolge der logarithmischen Empfindlichkeit des Ohres würde mit einem linearen Regler der Regel-

bereich an einem Ende stark zusammengedrängt und somit der größere Teil des Drehbereichs kaum eine Lautstärkeänderung hervorbringen. Negativ-logarithmische Regler benutzt man u. a. für eine katodenseitige Lautstärkeregelung in Verbindung mit einer HF-Regelpentode. Der abnehmenden Empfindlichkeit des Ohres bei kleinen Lautstärken im Gebiet der tiefen Frequenzen (Bässe) kann dadurch begegnet werden, daß man beim Herabregeln die hohen Frequenzen schwächt. Die tiefen Frequenzen erscheinen angehoben. Für die gehörrichtige (physiologische) Lautstärkeregelung werden positiv-logarithmische Potentiometer mit einem Abgriff eingesetzt, der in der Schaltung über ein RC-Glied an Masse gelegt ist. Lineare Regler sind gebräuchlich im Pentoden-Audion, das im Amateur-Kurzwellenbetrieb beliebt ist. — Die Klangregelung erfolgt im NF-Teil des Empfängers. Das Regelorgan kann liegen

zwischen Anode der Endröhre und Masse;

zwischen Gitter der Endröhre und Masse;

zwischen Anode der NF-Vorstufe und Masse;

im Gegenkopplungskanal zwischen den Anoden der NF-Vorröhre und Endröhre.

Als Gitterableitwiderstände können Drehwiderstände wegen der bei der Betätigung des Reglers auftretenden Kratzgeräusche n i c h t verwendet werden.

Im wesentlichen bezieht sich die Prüfung des Schichtreglers auf eine Unterbrechung des Regelvorgangs und auftretende Kratz- oder Knackgeräusche. Als Ursache kommen für diese Erscheinungen in Betracht:

Unterbrechung der Widerstandsbahn; dieser Fehler kann durch eine oder mehrere Brandstellen (die durch Überlastung hervorgerufen sind) oder einen Riß in der Widerstandsschicht verursacht sein;

Abnutzung der Widerstandsbahn oder des Kontaktabnehmers (Kohlepimpel);

Verschmutzung der Widerstandsbahn oder des Kontaktabnehmers;

Übergangswiderstand zwischen Drehachse und Führungsbuchse bei Reglern mit stromführender Achse.

Diese Störungen sind sämtlich beim Betrieb des Empfangsgeräts festzustellen.

Steht ein Ersatz für das schadhafte Potentiometer nicht zur Verfügung, so kann man eine Instandsetzung versuchen. Das Gehäuse wird geöffnet (Vorsicht beim Entfernen der Nieten durch Aufbohren oder Feilen!) und — sofern die Widerstandsbahn nicht beschädigt ist — sind Widerstandsbahn sowie sämtliche Kontaktstellen mit Tetrachlorkohlenstoff zu säubern. Es empfiehlt sich, die Kontaktstellen auch noch mit Kontaktöl (Cramolin) zu behandeln.

1.22 Drahtdrehwiderstände

Die Widerstandsbahn besteht aus einer Wicklung Widerstandsdraht, die auf einen Tragkörper aus Isoliermaterial aufgebracht ist.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften — Als Widerstandsmaterial dient im allgemeinen Konstantan- und Chromnickeldraht. Er ist auf einen keramischen oder sonstigen isolierenden Tragkörper, z. B. Vulkanfiber, im Ringwickelverfahren aufgebracht. Durch einen Lacküberzug wird die Wicklung vor mechanischen Beschädigungen geschützt. Eine sichere Kontaktierung mit der an der Kopfseite von der Lackschicht befreiten Wicklung gewährleistet ein Schleifer aus hochwertigem federndem Metall. Beim Drahtregler ist die Drehachse vom Schleifer isoliert. Mit Ausnahme der zementierten Hochlast-Drahtdrehwiderstände ist der Wickelkörper in ein meist metallisch abgeschirmtes Preßstoffgehäuse eingesetzt. Aus diesem sind die Anschlüsse (A, S, E) als Lötfahnen herausgeführt.

Die sich durch hohe Belastbarkeit auszeichnenden Drahtdrehwiderstände können wie Schicht-Drehregler als regelbare Widerstände oder Spannungsteiler geschaltet werden.

Ein Nachteil des Drahtwiderstands ist die verhältnismäßig große Selbstinduktion.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Die Normung erfolgt durch DIN-Blatt 41 464.

Die Auslieferungstoleranz beträgt ± 10 Prozent.

Es werden Drahtdrehwiderstände nach DIN bzw. TGL mit folgenden Nennlasten und Widerstandswerten gefertigt:

Nennlast: 0,5 W, 2,5 W, 3,5 W, 5 W, 7 W.

Widerstandswert (ohne Berücksichtigung der Belastung): 5 Ohm bis 25 kOhm.

Die Kurvenform ist linear; Sonderanfertigungen mit logarithmischer Charakteristik sind möglich.

Der Drehbereich ist verschieden: 270°, 288 ... 308°.

Die höchstzulässige Betriebsspannung läßt sich aus der Nennlast bestimmen ($U = \sqrt{N \cdot R}$).

Drahtdrehregler werden mit folgenden Widerstandswerten hergestellt.

25 - **50** - 80 - **100** - 160 - 200 - **250** - 300 - 400 - **500** - 800 Ohm,
1 - 1,6 - 2 - **2,5** - 3 - 4 - **5** - 8 - **10** - 16 - 20 - **25** kOhm.
(Die hervorgehobenen Werte sind zu bevorzugen.)

Hochlast-Drahtdrehwiderstände (Nennlast 10 — 25 — 50 — 100 — 250 Watt) sind ungenormt. Die Widerstandswerte entsprechen denen der obigen Tafel.

Eine Zementschicht schützt die Wicklung vor äußeren Einflüssen. Zementierte Widerstände sind gegen kurzzeitige Überlastungen nicht empfindlich.

Die mit Widerstandswerten von 50 bis 100 Ohm gefertigten, als „Entbrummer“ vorgesehenen kleinen Drahtdrehwiderstände eignen sich nicht für eine Dauerregelung, da Federdruck und Drehmoment zu groß sind.

Die Kennzeichnung der Drahtdrehwiderstände geschieht durch Angabe des Widerstandswertes und des Herstellerzeichens.

Die funktechnischen Anwendungsmöglichkeiten der Drahtdrehwiderstände sind beschränkt. Die Entbrummer dienen vorwiegend zur Überbrückung der Transformator-Heizwicklung, um durch Einstellung der „elektrischen Mitte“ den Netzbrumm zu beseitigen oder abzuschwächen.

1.3 Selbsttätige Regelwiderstände

Im Gegensatz zu den unter 1.1 und 1.2 besprochenen Widerständen haben die selbsttätigen Widerstände einen großen — negativen oder positiven — Temperaturbeiwert. Temperatur-, Spannungs- oder Stromänderungen rufen Änderungen des Widerstandswertes hervor, je nachdem, ob das Bauelement temperatur-, span-

nungs- oder stromabhängig ist. Es ergeben sich daher vielseitige Regelmöglichkeiten, wie etwa die Konstanthaltung einer Größe in einem bestimmten Regelbereich, Kompensation u. a. m. Unter Ausschaltung jeglicher mechanischer oder elektro-mechanischer Verfahren kann man sie überall dort verwenden, wo eine automatische Steuerung von Regelvorgängen notwendig oder erwünscht ist.

Nachfolgend die verschiedenen Arten selbsttätiger Regelwiderstände:

1.31 *Temperaturabhängige Widerstände**

Bei diesen Widerständen wird sowohl durch Eigenerwärmung als auch Fremderwärmung eine Änderung des Widerstandswertes hervorgerufen. Der große negative Temperaturkoeffizient bewirkt, daß der im kalten Zustand hohe Widerstand beim Stromdurchgang mit der dabei stattfindenden Erwärmung oder auch durch eine Erwärmung von außen auf einen kleinen Bruchteil des Widerstandswertes zurückgeht.

Moderne NTC-Widerstände sind auf oxydkeramischer Basis im Sinterverfahren aufgebaut; sie werden den Halbleitern zugeordnet.

Für die weitere Betrachtung temperaturabhängiger Widerstände sind einige Begriffsbestimmungen notwendig, die die Eigenschaften des Bauelements charakterisieren.

Der Kaltwiderstand R_k ist der Widerstandswert bei der Bezugstemperatur von 20 °C.

Der Temperaturbeiwert (TK-Wert) α ist das Maß für die Größe der Temperaturabhängigkeit des Widerstands und stellt die relative Widerstandsänderung je °C Temperaturänderung dar.

Der TK-Wert ist keine Konstante, sondern temperaturabhängig.

Der Warmwiderstand R_w läßt sich aus R_k und dem Temperaturverlauf des TK-Wertes für jede Temperatur berechnen.

---

*) Wegen des großen negativen Temperaturkoeffizienten (***nega**tive **t**emperature **c**oefficient*) werden diese Widerstände auch als **NTC**-Widerstände bezeichnet.

Die Strom-Spannungs-Kennlinie U = f (I) stellt die Spannung U als Funktion des Stromes I dar und ist ein Charakteristikum des temperaturabhängigen Widerstands. Der Spannungsverlauf wird sowohl durch den TK-Wert des Widerstands und dessen Temperaturverlauf als auch durch die Abkühlungsverhältnisse bestimmt. Diese wiederum sind abhängig von Größe, Form, Kontaktierung und Umgebungstemperatur des Widerstands.

Heißleiter, Thermistore — Heißleiterwiderstände bestehen aus leicht sinterungsfähigem Material, wie Mischoxyden aus zwei oder mehreren Komponenten. Die Leitfähigkeit beruht auf Elektronenleitung. Bevorzugt werden Mischungen aus Magnesium- und Titanoxyd, sogenannte Magnesium-Titan-Spinelle oder Magnesium-Nickeloxyde unter Zugabe von Kobalt u. a.

Urandioxyd- oder Uranoxyd-Werkstoffe, die man für den ursprünglichen Heißleiter, den „Urdox", verwendete, sind jetzt kaum noch gebräuchlich. Diese Urdox-Widerstände wurden hauptsächlich in Verbindung mit einem Eisenwasserstoff-Widerstand benutzt.

Der Aufbau der Heißleiter ist, von Spezialausführungen abgesehen, dem normalen Widerstand ähnlich. Das Bauelement wird frei in den Leitungszug eingebaut (Bild 13).

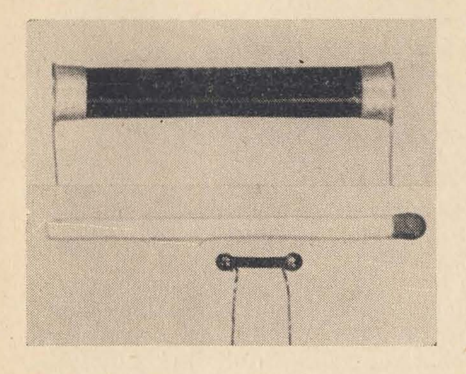


Bild 13. Heißleiterwiderstände

Technische Daten:

Bereich des Kaltwiderstands	~ 1 kΩ ... 100 kΩ
Tiefstwert des Warmwiderstands	0,2 bis 2 Prozent des Kaltwiderstands
höchste Betriebstemperatur	etwa 500 °C
Temperaturabhängigkeit	2 bis 4 Prozent/°C

Auf funktechnischem Gebiet ergeben sich gute Anwendungsmöglichkeiten für den Heißleiter:

a) Unterdrückung des Einschaltstromstoßes bei Allstrom-Rundfunk- und Fernseh-Empfängern

Hier arbeitet der Heißleiter als Anlaßwiderstand. Beim Einschalten des Geräts, bei dem die Heizfäden der Röhren mit den Skalenbeleuchtungslampen in Reihe liegen, erfolgt auf Grund des geringen Widerstands der noch kalten Heizfäden ein Spannungsstoß auf die Skalenlampen. Diese sind infolge ihrer geringen Wärmekapazität gegen Überlast sehr empfindlich. Ein Heißleiter hilft diesem Übelstand ab. Durch den großen Kaltwiderstand eines nach der Schaltung Bild 14 eingesetzten Heißleiters wird während des Anheizvorgangs ein Überschreiten der maximal zulässigen Stromspitze vermieden. Widerstandswert und Charakteristik des Heißleiters sind so zu wählen, daß sich auch im Endzustand der richtige Strom einstellt.

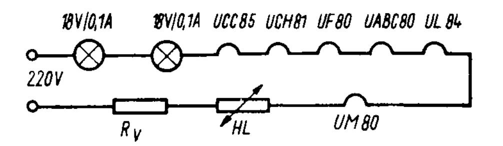


Bild 14. Der Heißleiter im Heizstromkreis

Bild 15 zeigt ein U = f (I)-Diagramm (Abhängigkeit der Heißleiterspannung vom Strom) bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C. In Bild 16 ist der Stromverlauf des Heizkreises, abhängig von der Anlaufzeit t (mit und ohne Heißleiter) dargestellt.

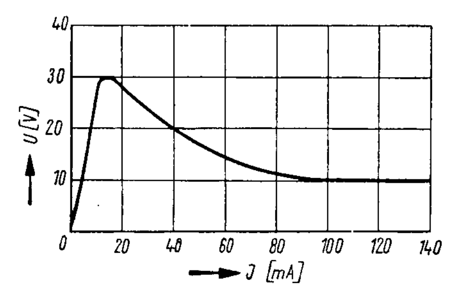


Bild 15. Die Abhängigkeit der Heißleiterspannung vom Strom (U = f [I])

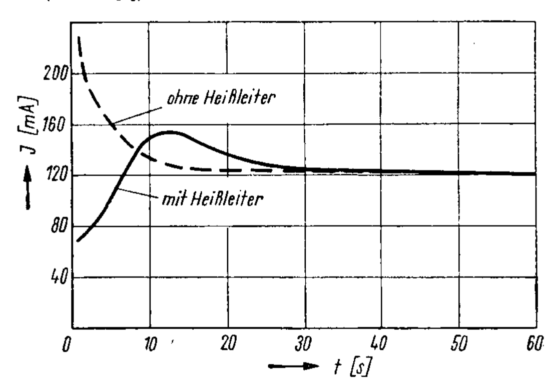


Bild 16. Die Abhängigkeit des Stromes von der Zeit (I = f [t])

Die nachstehende Tafel erläutert die Verwendung eines Heißleiters „Herwid-T HLN 24/01“ des VEB Keramische Werke Hermsdorf.

Röhren-bestückung	Heizstrom I [mA]	Heiz-spannung U [V]	Kalt-wider-stand R_k [Ω]	Betriebs-widerstand R_B [Ω]
UCH 81	100	19	30	190
UCC 85	100	26	38	260
UF 80	100	19	30	190
UABC 80	100	28,5	42	285
UL 84	100	45	68	450
UM 80	100	18	25	180
Skalenlampen 2 mal 18V	100	36	40	360
		191,5	273	1915

Ohne Verwendung eines Heißleiters ist ein Vorwiderstand von

$$R_v = 2200 - 1915 = 285 \text{ Ohm}$$

erforderlich. Im Einschaltmoment würde der Strom

$$I = \frac{U}{R_k} = \frac{220}{0{,}558} = 394 \text{ mA}$$

betragen.

Wird ein „Herwid-T HLN 24/01“ verwendet, so ist ein Vorwiderstand Rv = 45 Ohm erforderlich, der Kaltwiderstand dieses Heißleiters beträgt 4,5 kOhm. Im Einschaltmoment ergibt sich dann ein Strom von

$$I = \frac{U}{R_k} = \frac{220}{4{,}818} = 45{,}6 \text{ mA}.$$

Ist das Allstromgerät in Betrieb und es wird aus- und innerhalb kurzer Zeit wieder eingeschaltet, dann kann es trotz des Heißleiters passieren, daß ein Skalenlämpchen durchbrennt. Der Heißleiter hat sich noch nicht hinreichend abgekühlt, und im warmen Zustand ist sein Widerstandswert unter Umständen zu gering, um einen neuerlichen Einschalt-Stromstoß aufzuhalten. Es ist also notwendig, bis zum Wiedereinschalten des Geräts etwa 3 Minuten verstreichen zu lassen.

b) Verhinderung der Stromkreisunterbrechung bei Ausfall einer Skalenlampe

Durch Fadenunterbrechung einer im Stromkreis liegenden Skalenbeleuchtungslampe wird dieser stromlos. Um das zu vermeiden, überbrückt man die Lampe mit einem Heißleiter. Solange die Lampe intakt ist, nimmt der Heißleiter nur einen minimalen Strom auf und bleibt kalt. Beim Durchbrennen der Lampe fließt der Strom dann durch den Heißleiter, dessen Widerstand bis zur Stabilisierung des Stromes abnimmt. Die Bilder 17 und 18 zeigen die Schaltung und den Stromverlauf bei Ausfall der Skalenbeleuchtungslampe.

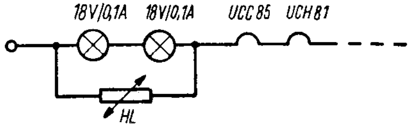


Bild 17. Der Heißleiter parallel zu den Skalen-Beleuchtungslampen

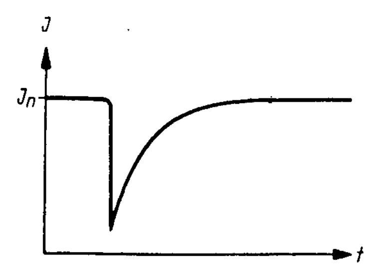


Bild 18. Der Stromverlauf im Heizkreis bei Ausfall einer Skalen-Beleuchtungslampe

c) Spannungsstabilisierung

Der negative TK-Wert des Heißleiters bietet die Möglichkeit einer Spannungsstabilisierung. Bei der in Bild 19 angegebenen Schaltung kann mit einem geeigneten Heißleiter, z. B. Herwid-T, eine Stabilisierung der Ausgangsspannung auf ± 5,3 Prozent bei einer Eingangsspannungsschwankung von ± 25 Prozent erzielt werden. Die Wirkungsweise der Kombination Heißleiter/Ohmscher Widerstand geht aus dem Diagramm (Bild 20) hervor.

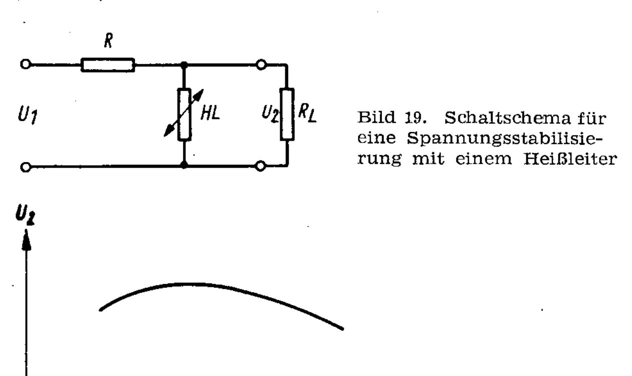


Bild 19. Schaltschema für eine Spannungsstabilisierung mit einem Heißleiter

Bild 20. Die Änderung der Ausgangsspannung U_2 in Abhängigkeit von der Speisespannung U_1 ($\Delta U_2 = f (U_{1\,const})$

d) Hochfrequente Leistungsmessung

Diese Messung, für die NTC-Miniaturwiderstände geeignet sind, interessiert auch den Funk-Amateur. Durch

die Leistung, die der Heißleiter in einem hochfrequenten Feld aufnimmt, verringert sich sein Widerstand. Die aufgenommene Leistung entspricht der Gleichstromleistung, die die gleiche Widerstandsabnahme hervorruft. Bei der Messung liegt der Heißleiter mit drei festen Ohmschen Widerständen in einer Brückenschaltung. Die Brücke wird vorerst mit Gleichspannung ins Gleichgewicht gebracht, wobei mit zunehmender Spannung der Widerstand des Heißleiters abnimmt. Wird jetzt die HF eingeschaltet (der Widerstand des Heißleiters sinkt hierbei noch weiter ab), dann kommt die Brücke aus dem Gleichgewicht, und um dieses wiederherzustellen, muß die Gleichstromleistung vermindert werden. Die Verminderung der Gleichstromleistung entspricht der vom Heißleiter aufgenommenen Hochfrequenzleistung.

Nachstehend Typen von Heißleitern (VEB Keramische Werke Hermsdorf), die sich für funktechnische Schaltungen eignen. Diese Bauelemente, als „Herwid-T“-Widerstände erhältlich, sind wie folgt gekennzeichnet:

Alte Bezeichnung:	Neue Bezeichnung:
HLN 24 / 10 / 01	24 / 01 / 1 E 9
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
1 = Halbleiter	1 = Spannungsabfall bei Nennstrom in Volt ± 10 Prozent
2 = neue Ausführung	2 = Nennstrom in A
3 = Spannungsabfall bei Nennstrom in Volt	3 = Monatsdekade (der Fertigung)
4 = Toleranz des Spannungsabfalls in Prozent	4 = Herstellungsmonat
5 = Nennstrom in A	5 = Herstellungsjahr

Ein sinngemäßes Schema gilt auch für die Typen

HLB = Halbleiter-Brückenwiderstände,
HLL = Halbleiter-Leistungswiderstände für Regelung, Steuerung und Sonderanwendung,
HLS = Halbleiterwiderstände für Anlaß-, Regel- und Meßzwecke,
HLR = Halbleiterwiderstände für Kompensations- und Meßzwecke,
HLW = Halbleiterwiderstände für Meßzwecke.

Herwid-T-Halbleiter-Serienwiderstände HLN 01 für Anwendung in Allstrom-Rundfunkgeräten und für Regelzwecke (Nennstrom I = 100 mA)

Type	22/01	24/01	30/01	36/01
Nennspannung U [V]	22 ± 2,2	24 ± 2,4	30 ± 3,0	36 ± 3,6
Widerstand bei 20 °C R_k [kΩ]	3 ± 0,5	4 ± 2	8 ± 2	10 ± 2
max. Belastung in Luft N_{max} [W]	6,2	6,6	6,6	8,0
Strom bei N_{max} [W] I_{max} [mA]	360	330	300	270
Zeitkonstante τ [s]	240	270	250	250

Herwid-T-Halbleiter-Serienwiderstände HLN 03 für Anwendung in Fernsehgeräten und für Regelzwecke (Nennstrom I = 300 mA)

Type	12/03	15/03	25/03	30/03
Nennspannung U [V]	12 ± 1,2	15 ± 1,5	25 ± 2,5	30 ± 3,3
Widerstand bei 20 °C R_k [kΩ]	1,5...3,5	2,0...5	3,5...7,8	7,5...12
max. Belastung in Luft N_{max} [W]	7	7	12	12
Strom bei N_{max} [W] I_{max} [mA]	650	—	500	420
Zeitkonstante τ [s]	170	—	240	280

Herwid-T-Halbleiter-Brückenwiderstände HLB 01 für Anwendung in Allstrom-Rundfunkgeräten (Nennstrom I = 100 mA)

Type	12/01	24/01
Nennspannung U [V]	12 ± 1,2	24 ± 2,4

1.32 *Spannungsabhängige Widerstände*)*

Im wesentlichen wird der Widerstandsverlauf dieser nichtlinearen Bauelemente von der Spannung bestimmt. Der durch einen spannungsabhängigen Widerstand fließende Strom ist nicht proportional der angelegten Spannung; diese Widerstände folgen somit nicht dem Ohmschen Gesetz.

---

*) Diese Bauelemente sind auch unter der Bezeichnung „VDR" = voltage dependent resistor bekannt.

Varistoren)* — Die Spannungsabhängigkeit der Varistoren beruht vorwiegend auf der Spannungsabhängigkeit der Kontakte zwischen den einzelnen körnigen Bestandteilen des Bauelements. Für die Herstellung dieses Kontaktleiters wird Siliziumkarbid, wie es für Schleifmittel gebräuchlich ist, verwendet. Die elektrischen Eigenschaften der Varistoren werden sowohl durch das Material als auch die Sintertemperatur — über 1000 °C, den Preßdruck — etwa 1,2 t/cm², die Korngröße — 60 bis 200 μ, Kornform und das Mischungsverhältnis bestimmt. Die vom Bindemittel abhängigen mechanischen Eigenschaften sind mit anderer Keramik vergleichbar.

Varistoren haben einen negativen Temperaturbeiwert. Bei konstantem Strom nimmt die Spannung um etwa 15 Prozent je °C ab, bei konstanter Spannung der Strom um 0,5 bis 0,8 Prozent zu.

Die in einem doppeltlogarithmischen Maßsystem dargestellte Strom/Spannungskennlinie ist im wesentlichen eine Gerade, deren Neigung durch den Nichtlinearitäts-Koeffizienten bestimmt wird. Eine entsprechende Kennlinie im linearen Maßstab zeigt Bild 21.

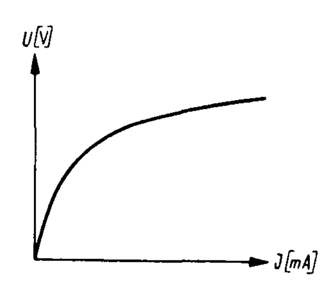


Bild 21. Die Strom/Spannungs-Kennlinie eines Varistors

Moderne Varistoren werden in Scheiben von 44, 13 oder 9 mm Durchmesser mit Stärken zwischen 1,5 und 10 mm gefertigt. — Die Kennzeichnung erfolgt nach dem internationalen IEC-Farbcode.

*) Diese Bezeichnung ist aus „variable resistor" entstanden.

Der Varistor ist sehr vielseitig verwendbar. In zahlreichen funktechnischen Schaltungen kann auf seinen Einsatz nicht verzichtet werden. Eine hervorragende Rolle spielt der VDR im TV-Gerät; hier unterdrückt er die in der Vertikalablenkstufe auftretenden Spannungsspitzen.

1.33 *Stromabhängige Widerstände*

Der Widerstandswert der stromabhängigen Widerstände steigt bei ihrer Erwärmung an. In einem definierten Bereich kann somit eine Spannungsstabilisierung erreicht werden.

Eisenwasserstoffwiderstände — Im Gegensatz zu den auf Seiten 36 und 43 besprochenen Widerständen besteht der Eisenwasserstoffwiderstand aus einem dünnen Eisendraht, der sich in einem vorwiegend mit Wasserstoff gefüllten Glaskörper befindet. Die Wasserstoffatmosphäre schützt den Draht vor Oxydation und dient gleichzeitig zur Wärmeableitung.

Das Bauelement hat einen verhältnismäßig großen positiven Temperaturkoeffizienten. Ein durch Spannungserhöhung bedingter Anstieg des Stromwertes führt zu einer Vergrößerung des Widerstandswertes. Bei Absinken des Stromes vollzieht sich der umgekehrte Vorgang. Diese Charakteristik macht ihn für die Spannungsstabilisierung geeignet.

Nach kurzer Anheizzeit halten Eisenwasserstoffwiderstände bei Spannungsschwankungen zwischen etwa 50 und 150 Prozent ihrer Nennspannung den Strom nahezu konstant. Die Regelkennlinie ist in Bild 22 dar-

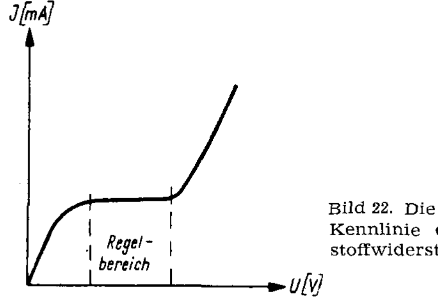


Bild 22. Die Spannungs/Strom-Kennlinie eines Eisenwasserstoffwiderstands

gestellt. Der größte Wirkungsgrad wird erzielt, wenn der Spannungsregelbereich größer ist als der Bereich der auszugleichenden Spannungsdifferenz der Versorgungsspannung. Im folgenden Beispiel ist die Regelung ausreichend:

Versorgungsspannung	300 V
Schwankung der Versorgungsspannung	250 bis 330 V
Verbraucherspannung	170 V
Eisenwasserstoffwiderstand-Nennspannung = 300 bis 170 V	130 V
Spannungsregelbereich des Eisenwasserstoffwiderstands 50 bis 150 Prozent von 130 V	65 bis 195 V
Die auszugleichende Spannungsdifferenz ist	250—170 V = 80 V 330—170 V = 160 V

Eisenwasserstoffwiderstände werden mit dem Verbraucher in Reihe geschaltet. Verbraucher-Stromstärke und Stromstärke des Widerstands müssen gleich sein. Die Summe der Spannung am Verbraucher und am Eisenwasserstoffwiderstand muß die Gesamtversorgungsspannung ergeben. Im Dauerbetrieb sind Eisenwasserstoffwiderstände nur mit dem 1,25fachen Wert der Nennspannung zu betreiben.

Eisenwasserstoffwiderstände werden nach TGL 2524 gefertigt. Sie sind im allgemeinen mit Messerkontakten (für kleine Spannungen) oder einem Gewindesockel versehen.

Je nach Verwendungszweck (Stabilisierung von Heizspannungen oder von Netz- und sonstigen Versorgungsspannungen) können aus der Vielzahl der Typen geeignete Widerstände gewählt werden.

2. GRUNDFORM, WIRKUNGSWEISE, EIGENSCHAFTEN, MASS-SYSTEM

In seiner Grundform besteht der Kondensator aus zwei elektrisch leitenden Flächen, allgemein Beläge genannt, die durch einen Isolator, das Dielektrikum, getrennt sind.

Wird den Belägen eine Spannung zugeführt, so bildet sich zwischen ihnen ein elektrisches Feld aus. Ist die Spannung eine Gleichspannung, dann entsteht auf dem einen Belag eine Elektronenanhäufung (negative Elektrode) und auf dem anderen Belag Elektronenmangel (positive Elektrode). Bei dieser Elektronenverschiebung fließt auf die negative Elektrode eine definierte Anzahl von Elektronen, die der positiven Elektrode entzogen wird. Der nach dem Einschalten der Stromquelle fließende Strom ist der Ladestrom. Er nimmt während der Ladezeit nach einer Exponentialkurve ab; der Ladestrom besitzt zu Beginn seinen größten Wert. Im geladenen Zustand hat der Kondensator die Spannung der Stromquelle angenommen, die Gegenspannung des Kondensators sperrt den Strom. Der Kondensator stellt für Gleichstrom im Idealfall einen unendlich großen Widerstand dar. Wird die Stromquelle abgeschaltet, so bleibt die Elektronenverschiebung erhalten; der Kondensator ist aufgeladen und führt zwischen seinen Belägen eine Spannung. Werden dann die beiden Elektroden kurzgeschlossen, so erfolgt ein Ausgleich der Elektronen. Nun fließt ein Strom in umgekehrter Richtung: der Entladestrom.

Wie aus den Vorgängen ersichtlich ist, wirkt ein Kondensator im Gleichstromkreis als Elektronenspeicher.
Die Größe der Ladung, die Elektrizitätsmenge Q, hängt ab

a) von der zugeführten Spannung U,

b) vom Fassungsvermögen des Kondensators, der Kapazität C.

Die Kapazität wird bestimmt von der Fläche der beiden Beläge, von ihrem gegenseitigen Abstand und dem

Isolierstoff des Dielektrikums. Diesen Materialeinfluß gibt man durch die Dielektrizitätskonstante ε an. Sie besagt, um wieviel mal größer die Kapazität eines Kondensators wird, bei dem man an Stelle von Luft einen anderen Stoff gleicher Dicke als Isolierstoff verwendet (z. B. Luft $\varepsilon = 1$, Glimmer $\varepsilon = 7$).

Wird ein Kondensator in einen Stromkreis geschaltet, in dem eine Wechselspannung wirksam ist, so geschieht eine fortwährende Umladung des Kondensators; die Elektronen werden einmal auf den einen und dann auf den anderen Belag befördert. Der wechselnde Fluß der Ladeströme im Rhythmus der Wechselspannung erweckt den Eindruck, als fließe der Strom durch den Kondensator. Im Gegensatz zum Gleichstromkreis wird durch den Kondensator im Wechselstromkreis keine Unterbrechung herbeigeführt. Die Lade- und Entladeströme werden bei gleicher Spannung größer, wenn Kapazität des Kondensators und Frequenz der Wechselspannung größer sind. Das Bauelement stellt also einen frequenzabhängigen Widerstand dar, den man als kapazitiven Widerstand R_C bezeichnet. Dieser wird um so größer, je kleiner die Kapazität des Kondensators und je niedriger die Frequenz ist. Der kapazitive Widerstand ist ein Scheinwiderstand, und der durch ihn fließende Strom erzeugt keine Wärme. Zur Berechnung des kapazitiven Widerstands dient die Gleichung:

$$R_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

(R in Ohm [Ω], f in Hertz [Hz], C in Farad [F]).

Bei der Betrachtung des Ladevorgangs zeigt sich, daß der Ladestrom am größten wird, wenn die Spannung am Kondensator am kleinsten ist. Beim aufgeladenen Kondensator ist $I = 0$. Diese Erscheinung tritt naturgemäß auch in Wechselstromkreisen auf, in denen eine ständige Umladung des Kondensators erfolgt. Es muß immer zuerst ein Strom fließen, bevor am Kondensator eine Spannung liegen kann. Da Strom- und Spannungshöchstwerte nicht zum gleichen Zeitpunkt erreicht werden, tritt eine Phasenverschiebung von Ladestrom und Ladespannung ein, und zwar „eilt im Kondensator der

Strom der Spannung voraus". Die Phasenverschiebung beträgt bei Kondensatoren ohne dielektrische Verluste $90^\circ = 1/4$ Periode.

Bei der Verwendung des Kondensators sind gegebenenfalls einige spezielle Eigenschaften des Bauelements zu beachten. Innere oder äußere, elektrische oder nichtelektrische Einflüsse bedingen Verluste oder ein besonderes Verhalten des Kondensators.

Ein Teil dieser Verluste wird im Verlustwiderstand R_v zusammengefaßt, der parallel oder in Reihe mit dem C liegend angenommen werden kann. Durch diesen Wirkwiderstand wird der Phasenverschiebungswinkel kleiner als 90°. Also kann man den Verlust durch den Verlustwinkel δ (den Winkel, um den die Phasenverschiebung kleiner als 90° wird, $\delta = 90^\circ - \varphi$) ausdrücken. Indessen wird in der Praxis stets der Tangens dieses Winkels als Verlustfaktor $\tan \delta$ angegeben. Der Gesamtstrom I läßt sich als aus zwei Komponenten bestehend betrachten, und zwar aus einer zur Spannung um 90° phasenverschobenen Blindstromkomponente I_b und einer zur Spannung gleichphasigen oder gegenphasigen Wirkstromkomponente I_w. Demzufolge ist

$$\tan \delta = \frac{I_w}{I_b}.$$

Jeder Kondensator hat neben seiner erwünschten Kapazität eine durch die Selbstinduktion der Beläge und der Zuleitungen hervorgerufene Induktivität. Diese Induktivität, deren Einfluß mit der Frequenz wächst, ist vor allem in den hohen Frequenzbereichen unerwünscht.

Infolge einer gewissen Leitfähigkeit des Dielektrikums — es gibt bekanntlich keinen absoluten Isolator — stellt ein Kondensator bei Anlegen einer Gleichspannung keinen unendlich großen Widerstand dar. Der sich ergebende Widerstand wird Isolationswiderstand genannt und bei einer Temperatur von + 20 °C eine Minute nach Anlegen einer Gleichspannung von 110 V gemessen.

Das Produkt $R_{isol.} \cdot C$ ($R_{isol.}$ in MΩ, C in μF) ist die Zeitkonstante T (in s). Diese ist wichtig für die Beurteilung der Güte eines Kondensators, insbesondere

für den Isolationswiderstand. Angenommen der Kondensator hat eine Kapazität C von 1 μF (10^{-6} F) und der Isolationswiderstand $R_{isol.}$ beträgt 2000 MΩ ($2 \cdot 10^9\,\Omega$), dann ergeben diese Werte in die Gleichung eingesetzt: $T = 2 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} = 2000$ s.

Alle Dielektrika haben einen Temperaturbeiwert, und die Temperatur übt auch einen Einfluß auf die anderen Bauteile des Kondensators aus, also ist die Kapazität ebenfalls von der Temperatur abhängig. Die Temperaturabhängigkeit wird charakterisiert durch den Temperaturkoeffizienten TK, der die prozentuale Kapazitätsänderung Δ C/C je °C ausdrückt. Da man keine temperaturunabhängigen Kondensatoren herstellen kann, muß zumindest gefordert werden, daß diese Abhängigkeit reproduzierbar ist.

Feuchtigkeit vermag die Güte des Kondensators zu beeinflussen, und zwar, weil der Isolationswiderstand herabgesetzt wird. Naturgemäß ist, wie bei allen Bauelementen, auch beim Kondensator mit Alterungserscheinungen zu rechnen.

Die Einheit des Kapazitätswerts eines Kondensators ist das Farad F. In der Praxis wird mit wesentlich kleineren Größen gerechnet:

Mikro-Farad μF $= 10^{-6}$ F ($= 10^3$ nF $= 10^6$ pF)
Nano-Farad nF $= 10^{-9}$ F ($= 10^3$ pF)
Piko-Farad pF $= 10^{-12}$ F

Im Laufe der Zeit ist eine Vielzahl von Ausführungsarten und -formen entwickelt worden, die jeglichen Ansprüchen genügen.

2.1 Kondensatoren mit festen Kapazitätswerten

2.11 *Papierkondensatoren*

Unter Papierkondensatoren sind Kondensatoren zu verstehen, bei denen als Belag Metallfolie, als Dielektrikum imprägniertes Papier Verwendung findet.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Papierkondensatoren bestehen grundsätzlich aus einem Wickel, der sowohl gehäuselos als auch mit Umhüllung versehen verwendet wird. Die Wicklung ist, um die Induktivität herabzusetzen, meist bifilar.

Als Belag werden normalerweise Aluminiumfolienstreifen in Stärken bis herab zu 6 μm benutzt, das Dielektrikum ist ein Natronzellulosepapier. Papierimprägnierungsmittel sind Wachse (Ozokerite, Paraffine, chlorierte Naphtaline u. a. m., auch als Gemisch, Naturvaseline und Kunstharze) (Bild 23).

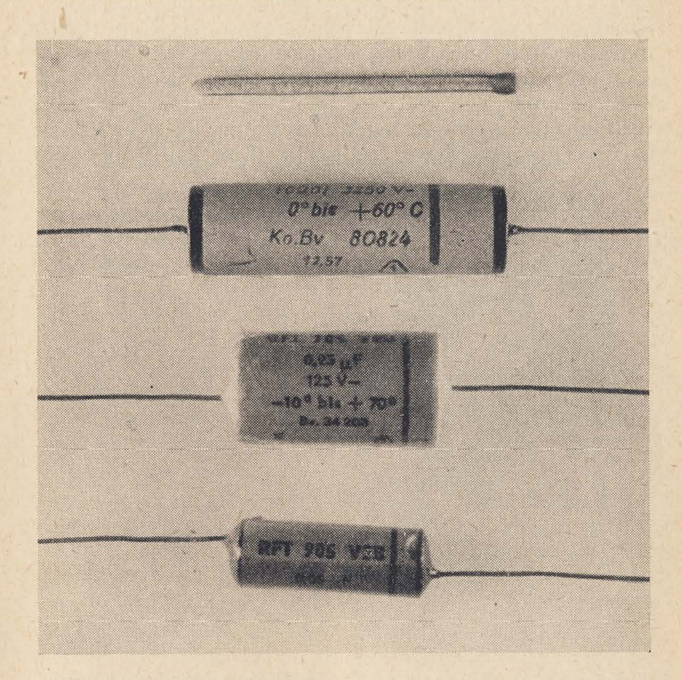


Bild 23. Papierkondensatoren. a) im Glasrohrgehäuse, b) Gewaplast-Kondensator, c) Duroplastkondensator

Hinsichtlich der Kontaktierung unterscheidet man drei Ausführungen von Papierkondensatoren. Bei der Normalausführung erfolgt die Kontaktierung der Beläge durch Druckkontakte in Form eingelegter Anschlußstreifen, bei der dämpfungsarmen Ausführung dagegen durch Verlöten der stirnseitig aus dem Kondensatorwickel herausgeführten Beläge mit der Anschlußfahne.

Diese Kondensatoren, die mit einem „d“ kenntlich gemacht werden, sind auch bei Betriebsspannungen kleiner als ein Millivolt kontaktsicher. Eine dritte, mit dem Aufdruck „k“ versehene Ausführung ist zwar kontaktsicher, aber nicht dämpfungsarm; die Anschlußfahnen sind mit den Belägen verschweißt.

Kondensatoren älterer Fertigung sind meist in Hartpapier-, Glas- oder Porzellanrohre eingesetzt, die man an den Stirnseiten mit einer Vergußmasse aus Asphalt- oder Bitumen-Wachs-Gemischen verschloß. Neuerdings werden dicht verlötete Keramikschutzrohre oder zylindrische Metallgehäuse bevorzugt (Bild 24). Die erste

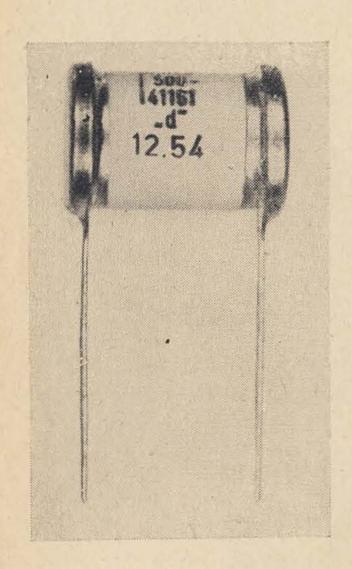


Bild 24. Papierkondensator in dicht verlötetem Calit-Schutzrohr

Ausführung ist unter dem Handelsnamen „Sikatrop“ bekannt. Beide Kondensatorentypen sind tropensicher. — Den sogenannten Becherkondensatoren in kubischen oder prismatischen Metallgehäusen kommt in funktechnischen Schaltungen heute keine wesentliche Bedeutung mehr zu. Wo größere Kapazitätswerte er-

forderlich sind, werden Elektrolytkondensatoren vorgezogen. — Ein weites Anwendungsgebiet haben die modernen gehäuselosen Gewaplast- und Duroplast-Kondensatoren gefunden. Gegenüber dem normalen Papierkondensator besitzen sie geringere Ausmaße. Die Kondensatorwickel sind mit einem Kunstwachs (Hochvakuumwachs mit Polystyrolzusatz bzw. Kunstharz — aushärtbares Gießharz) imprägniert und gegen äußere Einflüsse stirnseitig dicht abgeschlossen. „Gewaplast N"-Kondensatoren mit Druckkontaktgabe sind nur für Spannungen $\geqq$ 4 V kontaktsicher; die Ausführung „K" auch bei Spannungen $<$ 1 mV. Duroplast-Kondensatoren sind infolge der großen Festigkeit des Kunstharzes stoß- und schlagfest. Eine Metallummantelung bietet wirksamen Schutz gegen Eindringen von Feuchtigkeit. — Als Berührungsschutz-Kondensatoren werden Papierkondensatoren verwendet, die gegenüber der normalen Ausführung eine mehrfache Sicherheit gegen Spannungsdurchschläge gewähren. Sie sind in Hartpapier- oder Glasrohren, stirnseitig mit einer Vergußmasse verschlossen, untergebracht. Bei der Auswahl des Kondensators ist zu beachten, daß der kapazitive Blindstrom bei den in Frage stehenden Spannungen und Frequenzen den zulässigen Wert nicht übersteigt.

Die auf allen Papierkondensatoren (mit Ausnahme der Metallrohr-Ausführung) an einem Ende angebrachte Strichmarkierung bezeichnet den äußeren Belag. Bei Metallrohr-Kondensatoren kann diese besondere Kennzeichnung unterbleiben, da der Außenbelag am Gehäuse liegt. Beim schaltungstechnischen Einsatz liegt dieser Belag an Masse, um den inneren Belag gegen elektrische Einflüsse von außen her abzuschirmen. Bei Verwendung als Kopplungskondensator muß die innere Elektrode des Kondensators am Röhrengitter liegen.

Die Kapazität der Papierkondensatoren ist von den Abmessungen (Länge und Breite) der Belagfolien, der Dicke der Papierzwischenlage (Dielektrikum) und der Papierart abhängig. Die Papierart beeinflußt auch die Spannungsfestigkeit und u. a. die Temperatur- und Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors. Je dünner das Papier-Dielektrikum, desto höher die Kapazität des Kondensators; die Durchschlagsfestigkeit dagegen

nimmt mit dünnerer Papierzwischenlage ab. Die Dicke der Metallfolien hat keinen Einfluß auf den Kapazitätswert.

Das Fertigungsverfahren ist weitgehend automatisiert. Das maschinell auf die erforderliche Breite zugeschnittene Material, Aluminiumfolie und Kondensatorpapier, wird auf Wickelmaschinen zu einem Wickel verarbeitet. Dieser kommt nach völligem Austrocknen im Vakuum bei Wärmezufuhr zum Imprägnieren. Nach Erkalten des Wickels werden, wenn eine stichprobenweise Vorprüfung auf Kapazitätstoleranz erfolgt ist, die Anschlußdrähte an dem aus dem Wickel herausgeführten Anschlußstreifen befestigt. Die weitere Bearbeitung geschieht dann den jeweiligen Bauarten entsprechend.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Die wesentlichen elektrischen Daten der genormten Papierkondensatoren sind im Normblatt DIN 41 140 zusammengefaßt. Den einzelnen Ausführungsformen und -arten entsprechend wurden Vorschriften für die elektrischen Werte und mechanischen Größen geschaffen.

Auszug aus DIN 41 140

Klasse*)	1	3
zulässiger Temperaturbereich	—40° ... +70°	0° ... +60°
zulässige mittlere relative Luftfeuchtigkeit	100 %	60 %
geeignet für	feuchte Räume	trockene Räume
höchstzulässiger Verlustfaktor	$10 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$
Zeitkonstante	1000 s	200 s

Mindestwert der Isolation

Isolationswiderstand für kleinere Kapazitätswerte ($\leqq$ 0,01 μ F) 1 GΩ 100 GΩ**)

Besondere Eigenschaften

schüttelsicher, höhensicher bis 145 Torr

(Duroplastkondensatoren sind für einen Temperaturbereich von —40 ° ... +100 °C ausgelegt.)

Zu Klasse 1:

Aus den Werten für den zulässigen Temperaturbereich, die zulässige relative Luftfeuchtigkeit und die Höhenfestigkeit geht bereits das hauptsächliche

*) Zu einer technischen und konstruktiven Durchbildung von Klasse-2-Kondensatoren ist es im allgemeinen nicht gekommen.

**) 1 GΩ (Gigaohm) — $10^9 \Omega$.

Anwendungsgebiet hervor. Der Einbau der Kondensatoren in dicht verlöteten zylindrischen Metallgehäusen (nach DIN 41 164) oder keramischen Schutzrohren (DIN 41 161) gewährleistet Tropenfestigkeit.

Zu Klasse 3:

Die Kondensatoren dieser Klasse garantieren unter normalen Bedingungen eine ausreichende Lebensdauer. Klasse-3-Kondensatoren sind meist mit Vergußmasse abgeschlossene Rohrkondensatoren oder neuerdings gehäuselose, mit Kunstwachs oder -harz imprägnierte und stirnseitig abgeschlossene Kondensatoren.

Weitere technische Daten:

S p a n n u n g – Die während des Betriebs am Kondensator liegende Spannung wird als Betriebsspannung bezeichnet. Nennspannung ist die im Dauerbetrieb höchstzulässige Betriebsspannung.

Die Betriebsspannung darf sich aus einer Gleich- und einer Wechselspannung zusammensetzen, wobei die Summe aus der Gleichspannungskomponente und dem Scheitelwert der Wechselspannungskomponente den Wert der Nennspannung nicht überschreiten darf. Für die Dauer von maximal einer Minute ist eine Belastung mit dem 1,2fachen Wert der Nennspannung zulässig. Zur Vermeidung einer Erwärmung darf die Wechselspannungskomponente bei Frequenzen $\leqq$ 300 Hz nicht mehr als das 0,2fache der Nennspannung betragen; für höhere Frequenzen verringert sich die zulässige Wechselspannung. Bei Betrieb mit reiner Wechselspannung gilt der Effektivwert einer praktisch sinusförmigen Spannung.

Die Prüfspannung beträgt das 3fache der Betriebsspannung. Da bei einer Prüfung mit Wechselspannung die Gefahr der Beschädigung des Prüflings besteht, werden meist auch Wechselspannungskondensatoren mit Gleichspannung geprüft. Diese Prüfspannung beträgt dann das 4,5fache der Betriebswechselspannung.

K a p a z i t ä t s t o l e r a n z – Die Kapazitätstoleranzen für Papierkondensatoren betragen

$\pm$ 20 Prozent für $C < 0{,}1\ \mu F$,

$\pm$ 10 Prozent für $C \geqq 0{,}1\ \mu F$.

T e m p e r a t u r a b h ä n g i g k e i t d e r K a p a z i t ä t — $C = f(\vartheta)$, $f = 800$ Hz — Diese Eigenschaft wird charakterisiert durch den Temperaturkoeffizienten TK, der die prozentuale Kapazitätsänderung $\Delta C/C$ je °C ausdrückt. Papierkondensatoren haben einen verhältnismäßig hohen und nicht eindeutigen Temperaturbeiwert. Neben dem großen Verlustfaktor $\tan \delta$ ist auch dieser Umstand beim Einsatz solcher Kondensatoren zu berücksichtigen. Für frequenzbestimmende Funktionen sind sie nur bedingt geeignet.

T e m p e r a t u r a b h ä n g i g k e i t d e s V e r l u s t f a k t o r s — $\tan \delta = f(\vartheta)$, $f = 800$ Hz — Auch hier ist keine Proportionalität vorhanden. Im wesentlichen wächst der $\tan \delta$ mit fallender Temperatur.

F r e q u e n z a b h ä n g i g k e i t d e r K a p a z i t ä t — $C = f(f)$ — Die Frequenzabhängigkeit ist bei normalen Temperaturen gering. Bei Temperaturen kleiner als 30 °C ist sie erheblich. Beispielsweise beträgt bei einem Kondensator der Klasse 3 die Kapazität bei einer Meßtemperatur von — 70 °C nur noch etwa 70 Prozent der Nennkapazität. Die Kapazität nimmt mit wachsender Frequenz ab.

F r e q u e n z a b h ä n g i g k e i t d e s V e r l u s t f a k t o r s — $\tan \delta = f(f)$ — Der Verlustfaktor wächst mit zunehmender Frequenz. Auch diesen Faktor beeinflussen die Temperaturen in starkem Maße. Bei einer Temperatur von — 30 °C (ungefährer Mittelwert) hat der $\tan \delta$ seinen Höchstwert erreicht.

I s o l a t i o n s w i d e r s t a n d $R_{isol.}$ — Dieser Widerstand ist eine Funktion der Temperatur. Als Richtwert kann man eine Abnahme von etwa 4 Prozent je °C Temperaturanstieg annehmen. Bei Isolationswertmessungen muß die Temperaturabhängigkeit berücksichtigt werden.

F e r t i g u n g s b e r e i c h — Papierkondensatoren werden mit vielen Abstufungen der Kapazitätswerte zwischen 100 pF und einigen μF gefertigt.

S p a n n u n g s r e i h e

Nennspannung	V —	125	250	500	700	1000
zulässige Wechselspannung (Effektivwert) bei 50 Hz	V	75	150	220 250	350	380 400 500

K e n n z e i c h n u n g

Kapazitätswert (teilweise auch zusätzliche Toleranz)
Nennspannung (V —)
Temperaturbereich
DIN-Bezeichnung (soweit genormt) oder Bauvorschrift
Herstellungsdatum
Herstellerzeichen oder Herstellerbetrieb

Besondere Kennzeichnung durch folgende Zusätze:
(b) = Berührungsschutzkondensator
„d" = dämpfungsarmer Kondensator (auch kontaktsicher)
„k" = kontaktsicher

Anwendung, Fehlerermittlung — Becherkondensatoren und Rohrkondensatoren mit Vergußmasseverschluß sind in funktechnischen Schaltungen nur noch selten zu finden. Heute werden Papierkondensatoren in Metallrohr-, Keramikrohr- oder gehäuseloser Ausführung bevorzugt. Letztere, die sogenannten Duroplast- oder Gewaplast-Kondensatoren, werden wegen ihres geringen Volumens besonders in Klein- und Kleinstgeräte eingebaut. Papierkondensatoren dienen als
Siebkondensatoren, Kopplungskondensatoren, Entkopplungskondensatoren, Trennkondensatoren, Ableitkondensatoren und Berührungsschutzkondensatoren.

Im wesentlichen treten bei Papierkondensatoren, besonders nach längerem Betrieb, folgende Fehler auf:
Kurzschlüsse, durch Durchschläge hervorgerufen;
Feinschlüsse, hauptsächlich durch Eindringen von Feuchtigkeit in den Wickel bedingt;
Kontaktunterbrechung, durch mechanische Überbeanspruchung verursacht.

Die Gefahr eines Durchschlags besteht vorwiegend beim Einschalten des Geräts, wobei ein übermäßiger

Spannungsstoß auftreten kann. Anfällig sind diese Kondensatoren vorzugsweise in Wechselstromempfängern mit direkt geheizten Gleichrichterröhren. Da bei Papierkondensatoren (mit Ausnahme der Metallpapierkondensatoren) mit dem Durchschlag ein Kurzschluß beider Beläge herbeigeführt wird, kann der Fehler unschwer festgestellt werden.

Feinschlüsse des Ankopplungskondensators zur Empfänger-Endstufe verursachen eine unerwünschte Anodenstromerhöhung. Die Prüfung dieses Kondensators ist im Gerät selbst vorzunehmen. Nachdem parallel zur Primärseite des Ausgangstransformators ein Strommesser geschaltet wurde, ist das gitterseitige Ende des Ankopplungskondensators gegen Masse kurzzuschließen. Das geschieht am einfachsten mit dem Schraubenzieher. Wenn dabei der Anodenstrom absinkt, ist das ein Zeichen dafür, daß der Kondensator nicht mehr einwandfrei arbeitet.

Kontaktunterbrechungen kommen im allgemeinen nur bei vergossenen Rohrkondensatoren vor, da hier die Anschlußdrähte durch übermäßige mechanische Beanspruchung von der dünnen Folie abgerissen werden können.

Eine Reparatur von Papierkondensatoren ist nicht lohnend; fehlerhafte werden ausgewechselt.

2.12 Metallpapierkondensatoren

Metallpapierkondensatoren, kurz MP-Kondensatoren genannt, sind Kondensatoren, bei denen ein Metallbelag auf Papier als Dielektrikum festhaftend angebracht ist.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Der MP-Kondensator ist eine spezielle Ausführung der oben besprochenen Papier-Wickelkondensatoren. An Stelle der jeweils zwei Aluminiumfolien- und Papierstreifen, die bei den Papier-Wickelkondensatoren zu einem Wickel verarbeitet sind, besteht dieser beim MP-Kondensator aus zwei etwa 10 μm dicken, mit Azetylzelluloselack präparierten Natronzellulose-Papierstreifen. Das Papier ist mit einer 0,05 bis 0,1 μm dicken Zinkschicht, die die Elektrode darstellt, überzogen. Dieser außerordentlich dünne Be-

lag ermöglicht die Herstellung kleiner Kondensatoren mit verhältnismäßig großen Kapazitäten. Beispielsweise kann eine Kapazität von 1 μF für eine Nennspannung von 250 V in einem Becher von 30 · 30 · 20 mm untergebracht werden.

Durch Aufspritzen einer Zinnlegierung auf die Ränder des metallisierten Papiers wird die Kontaktierung der Anschlußdrähte ermöglicht. Durch dieses Verfahren ist die Herstellung kontaktsicherer und dämpfungsarmer Kondensatoren gewährleistet.

Die Wickel sind feuchtigkeitsempfindlich, so daß sie in dichte Metallgehäuse eingebaut werden müssen.

Eine wertvolle Eigenschaft der MP-Kondensatoren ist die Fähigkeit, selbst „auszuheilen", d. h., sie werden bei Durchschlägen nicht unbrauchbar, da die Metallschicht an der Durchschlagstelle verdampft, bevor das Papierdielektrikum wegbrennen kann. Versuche haben ergeben, daß die Kapazität nach 10 000 Durchschlägen um weniger als 1 Prozent abnimmt. Also besitzt dieses Bauelement eine hohe Betriebssicherheit und lange Lebensdauer.

Der MP-Kondensator hält eine Spitzenspannung aus, die im allgemeinen das 1,5fache der Nennspannung beträgt.

Die an einen hochwertigen Kondensator gestellten Ansprüche werden vom MP-Kondensator erfüllt. Außer den bereits erwähnten guten Eigenschaften ist er fast unbegrenzt lagerfähig, wenig empfindlich gegen ungünstige Lagerbedingungen, induktionsarm, tropenfest und hat einen kleinen Verlustfaktor.

Das Fertigungsverfahren weicht, bis auf die Herstellung der Wickel, von dem des normalen Papierkondensators ab. Nach entsprechender Vorbehandlung wird das Papier zur Erhöhung des Isolationswiderstands mit einer Azetylzellulose-Lackschicht versehen. Es gelangt dann zur Metallbedampfungsanlage, wo es unter bestimmten Temperaturen im Vakuum mit Zinnmolekülen bedampft wird. Hiermit liegt das Grundmaterial zur Anfertigung der ein- oder zweilagigen Rund- bzw. Flachwickel vor. Die Stirnseiten der Wickel besprüht man nach einem Spezialverfahren mit einer flüssigen

Zinn-Blei-Legierung. Anschließend werden die Wickel sorgfältig getrocknet, getränkt und mit Vaseline nachimprägniert. Einer Vor- und Nachformierung schließt sich das Anlöten der Anschlußfahnen oder -drähte an. Zum Schluß wird der Einbau in dichte Gehäuse vorgenommen. Während des Fertigungsprozesses erfolgt eine mehrfache Kontrolle.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Nach dem für Metallpapierkondensatoren gültigen Normblatt DIN 41140 sind, mit Ausnahme der nachstehend angegebenen Daten, für diese Kondensatoren die gleichen Bestimmungen maßgebend wie für normale Papierkondensatoren:

Klasse		1	(3)
höchstzulässiger Verlustfaktor		$15 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$
Zeitkonstante	bis 250 V	200 s	50 s
	über 250 V	1000 s	200 s

MP-Kondensatoren der Klasse 3 werden nicht hergestellt; hinsichtlich der Klasse-2-Kondensatoren gilt das auf Seite 54 Gesagte.

Weitere technische Daten:

Spannung
Normmäßig festgelegte Spannungen sind

Nennspannung		V —	160	250	350
Prüfspannung		V —	240	375	500
Nennspannung Prüfspannung	50 Hz	V ~ eff	50	100	150

Kapazitätstoleranz
Sie beträgt für Kondensatoren

$< 1\,\mu F \pm 20\,\%$ $\geqq 1\,\mu F$ $+ 20$ Prozent $- 10$ Prozent

Fertigungsbereich
0,1 . . . 50 μF in 9 Werten (DIN 41181, 41183)
(Kapazitäten ≧ 10 μF enthalten mehrere Wickel.)

Spannungsreihe

Nennspannung	V —	160	250	350	500	700

Die Kennzeichnung der Metallpapierkondensatoren erfolgt durch Aufdruck:
Kapazitätswert
Nenn- und Prüfspannung

DIN-Bezeichnung oder Bauvorschrift
MP
Herstellerzeichen oder Herstellerbetrieb

Anwendung – Der MP-Kondensator wird in funktechnischen Schaltungen hauptsächlich dann eingesetzt, wenn bei niedrigen oder mittleren Spannungen große Kapazitätswerte verlangt werden. Für Geräte, in denen eine durch Kondensatordurchschlag herbeigeführte Betriebsunterbrechung vermieden werden muß, sind MP-Kondensatoren wegen ihrer Regenerierfähigkeit besonders geeignet.

2.13 *Kunstfolienkondensatoren*

Unter Kunstfolienkondensatoren sind Kondensatoren zu verstehen, bei denen als Belag Metallfolie, als Dielektrikum Kunstfolie Verwendung findet.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren – Die in letzter Zeit entwickelten Kunststoffkondensatoren bestehen aus einem Wickel, der sowohl gehäuselos als auch mit einer Umhüllung versehen benutzt wird.

Als Beläge dienen Aluminiumfolie-Streifen, wie sie bei Papierkondensatoren gebräuchlich sind, als Dielektrikum der thermoplastische Kunststoff Polystyrol, der in gereckter Form unter der Bezeichnung Styroflex bekannt ist. Die Kunststoffkondensatoren werden daher allgemein als „Styroflexkondensatoren" bezeichnet (Bild 25).

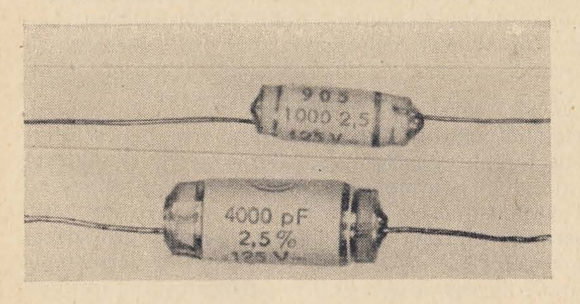


Bild 25. Kunstfolienkondensatoren

Polystyrol ist reiner Kohlenwasserstoff. Das Material zeichnet sich durch große Durchschlagsfestigkeit, kleine dielektrische Verluste, geringe Frequenzabhängigkeit und großen Isolationswiderstand aus; die Feuchtigkeitsaufnahme ist minimal, sie beträgt z. B. bei Lagerung im Wasser weniger als 0,3 Prozent. Es ist daher verständlich, daß Styroflexkondensatoren ausgezeichnete Eigenschaften haben, die kaum von denen der sehr hochwertigen und teuren Glimmerkondensatoren übertroffen werden.

Auch die gehäuselose Ausführung, die sogenannten „Nacktwickel", sind gegen Eindringen von Feuchtigkeit unempfindlich. Durch Tempern (eine Art der Wärmebehandlung) wird ein Schrumpfprozeß hervorgerufen; es entsteht ein kompakter Wickel großer mechanischer Festigkeit mit feuchtigkeitssicherem Verschluß.

Für die Dimensionierung des Bauelements ist die Foliendicke und deren Toleranz bestimmend. Die Folien werden in Dicken von 10 bis 40 μm hergestellt. Bei den modernen Typen – auch denen der Klasse 3 – sind die Anschlußfahnen mit den Belägen verschweißt, so daß diese Kondensatoren HF-kontaktsicher sind. Im Gegensatz zu der älteren Ausführung macht man Nacktwickel der kontaktsicheren Ausführung durch rote Beschriftung kenntlich.

Styroflexkondensatoren werden meist als Nacktwickel verwendet. Die in dicht verlöteten Keramikrohren, in zylindrischen Metallgehäusen, in rechteckigen oder prismatischen Metallbechern untergebrachten Kondensatoren sind für besonders hohe Anforderungen bestimmt. Die Wickel imprägniert man im Gegensatz zu den Papier- oder Metallpapierkondensatoren nicht, auch wenn sie in Gehäuse eingebaut werden.

Die Herstellung der Wickel erfolgt wie bei Wickelkondensatoren. Das Tempern der gefertigten Wickel bewirkt eine Schrumpfung der Polystyrolfolie und damit eine intensive Verfestigung des Wickels. Die Temperatur während des Temperprozesses wird so gewählt, daß die Stirnseiten des Wickels zwar verschmolzen sind, die Struktur des Dielektrikums im Inneren aber erhalten bleibt.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Die wesentlichen elektrischen Daten der genormten Kunstfoliekondensatoren sind im Normblatt DIN 41380 zusammengefaßt. Für Aufbau, Dimension und sonstige elektrische Werte der einzelnen Ausführungsformen und -arten gelten besondere Vorschriften (DIN 41381 bis 41390).

Auszug aus DIN 41380

Klasse	1	3
Temperaturbereich	—40 °C bis + 60 °C	—10 °C bis + 60 °C
zulässige relative Luftfeuchtigkeit	100 %	60 %
zeitliche Konstanz der Kapazität nach 1 Jahr	± 0,3 %	± 0,5 %
Mindestwert der Isolation	5000 s für C > 0,05 μF 100 G Ω für C ≦ 0,05 μF	1000 s für C > 0,2 μF 5 GΩ für C ≦ 0,2 μF
Verlustfaktor bei 800 Hz 20 °C	tan δ ≦ 0,3 · 10⁻⁶/°C	
Temperaturbeiwert der Kapazität	—150 · 10⁻⁶/°C (Richtwert)	

Ausführung Klasse 1:

Dicht verlötete Keramikschutzrohre oder Metallgehäuse in zylindrischer, rechteckiger oder prismatischer Form;

Ausführung Klasse 3:

Hartpapierrohr mit stirnseitigem Vergußmasseabschluß oder gehäuselos (Nacktwickel).

Im folgenden einige weitere Daten:
Kapazitätstoleranz

Es werden Styroflexkondensatoren mit den Toleranzen

± 0,5 ± 1 ± 2 ± 5 ± 10 ± 20 Prozent

hergestellt. Meßkondensatoren können mit den Toleranzen + 0 — 0,5 geliefert werden.

Fertigungsbereich

Die Fertigung erstreckt sich auf einen Kapazitätsbereich von 50 pF bis 0,55 μF; Meßkondensatoren werden für die Kapazitätswerte 0,01 μF bis 2 μF hergestellt.

Spannungsreihe (die nicht genormten Werte sind in [ ] gesetzt)

Nenn-spannung V –	63	[125]	160	250	[500]
	[1 000]	[3 000]	[5 000]	[10 000]	
Prüf-spannung V –	200	[375]	500	750	[1 500]
	[3 000]	[9 000]	[15 000]	[30 000]	

Die zulässige Wechselspannung ist je nach Ausführung unterschiedlich; sie beträgt 20 Prozent, 30 Prozent oder 50 Prozent des Nennspannungswertes.

Kennzeichnung erfolgt durch Aufdruck auf einem Einlageschild oder (bei geschützten Typen) auf dem Gehäuse:

Kunstfolie oder Kf
Kapazitätswert
Toleranz in Prozent
Nennspannung V –
Temperaturbereich
DIN-Bezeichnung oder BV (Bauvorschrift)
Herstellungsdatum (Monat, Jahr)
Herstellerzeichen oder Herstellerbetrieb

Anwendung – Styroflexkondensatoren finden in Schaltungen Verwendung, in denen große Kapazitätskonstanz, ein definierter Temperaturgang sowie geringe Verluste auch bei hohen Frequenzen verlangt werden und die Geräte großer Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchung unterworfen sind. Spezialausführungen mit kleiner Kapazitätstoleranz für Eich- und Meßzwecke stehen im gleichen Maße zur Verfügung wie Styroflexkondensatoren für hohe Betriebsspannungen (maximal 10 kV), die auch dem Funkamateur beim Aufbau des Senders gute Dienste leisten. Im Empfangsgerät dient das Bauelement besonders als Kopplungs- und Schwingkreis-Kondensator bei Oszillatoren und Bandfiltern.

Beim Löten muß man vorsichtig verfahren, da eine Berührung des Nacktwickels mit dem heißen Lötkolben den Kondensator zerstören kann; Styroflex hat einen

Schmelzpunkt von etwa 60 °C. Styroflexkondensatoren können durch Überbelastung und mechanische Überbeanspruchung, z. B. Ausreißen der Anschlußdrähte, unbrauchbar werden. Eine Instandsetzung ist nicht möglich.

2.14 *Glimmerkondensatoren*

Das Charakteristikum dieser Kondensatoren ist Glimmer als Dielektrikum; als Beläge dienen auf diesem festhaftende metallische Schichten oder Metallfolien.
Heute ist diese Bauart nur noch für einige Spezialzwecke gebräuchlich, da die an einen hochwertigen Kondensator gestellten Ansprüche größtenteils mit den preisgünstigeren Styroflex- oder keramischen Kondensatoren befriedigt werden können.

Ausführungsform, Werkstoff, Eigenschaften — Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Kondensatorarten ist der Glimmerkondensator — zumindest in neuerer Ausführung — ein Schichtkondensator. Die metallischen Beläge sind abwechselnd mit Glimmerfolien geschichtet. Während früher Metallfolien als Elektroden dienten, wird bei der neuzeitlichen Bauweise eine dünne Metallschicht (meist durch ein chemisch-thermisches Verfahren) auf die Glimmerfolie aufgebracht. Im allgemeinen verwendet man Silber als Belagmaterial; das Dielektrikum besteht aus indischem Kaliglimmer. Mit diesem Verfahren wird eine Herabsetzung der Feuchtigkeitseinflüsse, der Vorwiderstände und Streukapazitäten ermöglicht.

Glimmerkondensatoren zeichnen sich durch zeitliche Konstanz, geringen Verlustfaktor, Frequenz- und Temperaturunabhängigkeit aus.

Normung, technische Daten — Eine Normung erfolgte für Glimmerkondensatoren nicht. Die geschichtete Bauform entspricht im allgemeinen den Anforderungen, die an Klasse 1 gestellt werden.

Spannung

Infolge der großen Durchschlagfestigkeit des Dielektrikums sind Glimmerkondensatoren für eine Nennspannung von 500 V — ausgelegt; die Prüfspannung beträgt 1500 V.

Kapazitätstoleranz, Kapazitätskonstanz

Die Toleranzen sind 0,5 — 1 — 2 — 5 — 10 — 20 Prozent. Bei neuzeitlichen Ausführungen liegt die Kapazitätskonstanz bei ± 0,2 Promille.

Temperaturbereich

Die Kondensatoren sind im Temperaturbereich — 10 °C bis + 80 °C (gegebenenfalls auch bis — 60 °C) verwendbar.

Temperaturabhängigkeit der Kapazität

Der mittlere Temperaturkoeffizient beträgt + 5 bis $30 \cdot 10^{-6}$ /°C; er ist nicht frequenzabhängig.

Isolationswiderstand

Die Zeitkonstante liegt im allgemeinen über 5000 s.

Verlustfaktor

Er hängt weitgehend von der Güte des Glimmers ab; der tan δ liegt im Bereich von 0,2 bis $2 \cdot 10^{-3}$.

Fertigungsbereich

Die Kapazitätswerte werden analog zu denen der Styroflexkondensatoren gefertigt. Außer den serienmäßigen Werten können, je nach den Erfordernissen, ohne Schwierigkeiten jegliche Werte zwischen etwa 30 pF und einigen 1000 pF hergestellt werden.

Anwendung — Glimmerkondensatoren werden heute nur noch in Sendern und für Meß- und Eichzwecke verwendet. Für den Empfängerbau sind sie ohne Interesse.

2.15 *Luftkondensatoren*

Diese Kondensatoren haben Luft als Dielektrikum; die Elektroden sind Metallplatten. Luftkondensatoren bilden die Ursprungsform des Kondensators, haben jedoch ihre einstige Bedeutung verloren. Deshalb wird hier nur ein allgemeiner Überblick gegeben.

Ausführungsform, Werkstoff, Eigenschaften — Das Bauelement ist aus abwechselnd geschichteten Metallplatten (Aluminium, Messing u. a.) meist rechteckiger Form aufgebaut; feste Zwischenlagen sind nicht vorhanden. Die Größe der Platten und ihr Abstand voneinander bestimmen die Kapazität des Kondensators. Da Luft eine geringe Dielektrizitätskonstante ($\varepsilon = 1$) aufweist, sind keine großen Kapazitätswerte möglich. Das Opti-

mum dürfte bei einigen Hundert Pikofarad liegen, wenn annehmbare Dimensionen des Bauelements gewahrt werden sollen.

Infolge des in bezug auf Verluste fast idealen Dielektrikums kann man einen äußerst hochwertigen Kondensator aufbauen. Es muß vorausgesetzt werden, daß die Güte dieses Bauelements nicht durch ungeeignete Isoliermittel zunichte gemacht wird. Um dielektrische Verluste zu vermeiden, müssen für die Isolation verlustarme Materialien wie Calit oder ähnliche keramische Massen, Quarz, Amenit (eine Quarz-Polystyrol-Mischung), Polystyrol oder Bernstein verwendet werden.

Normung, technische Daten — Eine Normung und Festlegung technischer Daten ist in Anbetracht der Technologie und der sehr unterschiedlichen speziellen Eigenschaften des Bauelements nicht möglich.

Anwendung — Feste Luftkondensatoren finden in der Sendetechnik sowie für Eich- und Meßzwecke Verwendung.

Durch Entnahme oder Hinzufügung von Platten und/oder deren Abstandsänderung können gegebenenfalls andere Kapazitätswerte eingestellt werden.

2.16 *Keramische Kondensatoren*

Keramische Kondensatoren besitzen aus keramischen Massen hergestellte Dielektrika, auf die als Belag Metallschichten fest aufgebracht sind.

Ausführung, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigung — Sowohl die besonderen Eigenschaften der Dielektrika als auch die aufgebrannten Beläge aus Edelmetall führen zu überaus günstigen elektrischen Werten der Keramikkondensatoren.

Zur Herstellung des Dielektrikums dienen dicht gesinterte keramische Werkstoffe, Magnesiumsilikate, Titandioxyde und Titanate der Erdkalimetalle Kalzium, Strontium und Barium. Diese Massen sind unter den Handelsnamen Calit, Condensa, Tempa und Epsilan bekannt.

Das rohr- oder scheibenförmig bzw. wulstrohr-, topf- oder plattenförmig gestaltete Dielektrikum bestimmt die Bauform des Kondensators (Bild 26).

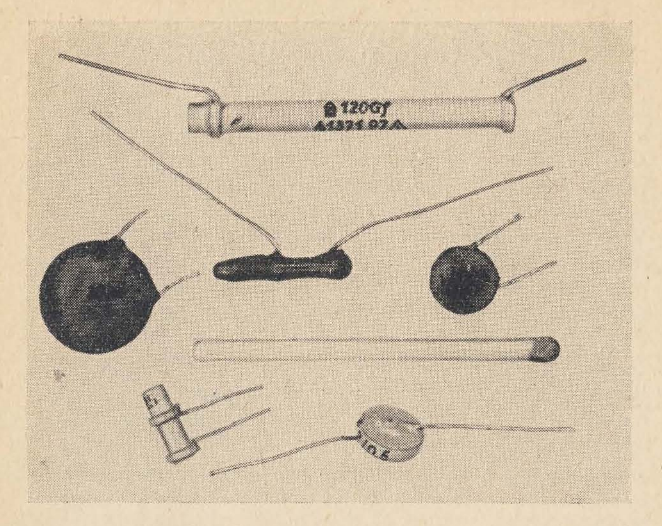


Bild 26. Keramikkondensatoren verschiedener Ausführungen

Die Beläge aus gut leitenden Edelmetallen, meist Silber, sind bei rohrförmigen oder rohrähnlichen Ausführungen auf die Innen- und Außenseite, bei scheiben- oder plattenförmigen auf die beiden Scheiben- oder Plattenoberflächen aufgebrannt. Ein solcher Belag ist im Gegensatz zu den gewickelten oder geschichteten Kondensatoren mit organischen Dielektrika mechanisch fest und also keinen zeitlichen Änderungen unterworfen. Vor allem werden dielektrische Verluste vermieden.

Zum Anschluß dienen Drähte oder Fahnen, die an die Beläge angelötet sind. Diese Befestigung bedingt optimale Kontaktsicherheit.

Der Einfluß von Feuchtigkeit wird durch den sachgemäßen Aufbau der keramischen Werkstoffe klein gehalten; einen zusätzlichen Schutz bieten hochwertige Lackierungen, deren Farbe gleichzeitig das verwendete Dielektrikum kennzeichnet, oder Umhüllungsmassen. Kondensatoren, die während des Betriebes besonderen atmosphärischen Bedingungen ausgesetzt sind, werden in dicht verlötbare Calit-Schutzrohre eingebaut.

Soweit eine Kennzeichnung des Kondensator-Außenbelags notwendig oder zweckmäßig ist, geschieht diese durch eine Strichmarkierung. Schutzrohre sind mit einem Farbstrich, der zugleich das Dielektrikum erkennen läßt, versehen.

Der Bereich der Kenndaten keramischer Kondensatoren wird im wesentlichen von den Werkstoffeigenschaften der Dielektrika beeinflußt, die konstruktive Gestaltung hat sekundäre Bedeutung. Als Kondensatordielektrikum ist der keramische Isolierstoff aktiv wirksam, so daß das Verhältnis der Dielektrizitätskonstante DK zum dielektrischen Verlust tan δ das Konstruktionsprinzip kennzeichnet.

Je nach dem Verwendungszweck unterscheidet man:

Kleinkondensatoren,
Miniaturkondensatoren,
Subminiaturkondensatoren,
Kondensatoren für Kleinstempfänger,
Hochleistungs-(Sende-)Kondensatoren.

Eine spezielle Ausführung stellen die Durchführungskondensatoren dar (Bild 27). Sie sind so aufgebaut, daß der äußere Belag durch Verschraubung oder Verlötung am Gehäuse (Masse) und der innere an einem axial durchgeführten Anschluß liegt. Bei der keramischen Ausführung ist der innere Belag beiderseitig mit Lötfahnen versehen, so daß sich auch hier eine „Durchführung“ ergibt.

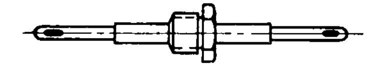


Bild 27. Durchführungskondensator

Durchführungskondensatoren entsprechen dem in der Technik der sehr hohen und höchsten Frequenzen geforderten Prinzip der kürzesten Zuleitung. Damit zeichnet sich dieser Kondensator durch geringste Induktivität aus und ist besonders zur Entkopplung von HF-Kreisen geeignet.

Gegenüber anderen Bauarten weisen keramische Kondensatoren verschiedene Vorzüge auf. Die Kapazitäts-

werte können, je nach dem Ausgangsmaterial, bei räumlich kleinen Abmessungen beachtliche Größen annehmen; z. B. haben Kondensatoren aus Sondermassen, etwa Epsilan mit einer Dielektrizitätskonstante von 5000, bei einem Scheibendurchmesser von 20 mm eine Kapazität von 20 000 pF. Weiter zeichnen sie sich aus durch

a) geringe Eigeninduktivität,
b) hohe Spannungsfestigkeit,
c) großen Isolationswiderstand,
d) hinreichende Kapazitätskonstanz,
e) niedrige dielektrische Verluste.

Zu a): Der Einfluß macht sich erst bei hohen Frequenzen (UKW-Gebiet) bemerkbar; hierbei darf die Einwirkung der Zuleitung nicht übersehen werden.

Zu b): Bis zu einer Gleichspannungsbelastung in Höhe des dreifachen Wertes der Nennspannung für die Dauer von einer Sekunde sind keramische Kondensatoren spannungsfest. Eine Ausnahme bilden die Typen mit extrem hoher Dielektrizitätskonstante (Epsilan), die nur mit der zweifachen Nennspannung belastbar sind.

Zu c): Bei relativer Luftfeuchtigkeit unter 50 Prozent liegt der auf den Werkstoff bezogene Isolationswiderstand bei 10^{10} bis 10^{12} Ω; die Zeitkonstante ist im allgemeinen größer als 5000 s. $R_{isol.}$ ist temperaturabhängig.

Zu d): Die Kapazitätskonstanz liegt bei 0,2 Promille; dieser Wert entspricht ungefähr dem der Glimmerkondensatoren.

Zu e): Dieser Faktor, der bei einer Temperatur von + 20 °C, normaler Luftfeuchtigkeit und einer Frequenz von 1 MHz gemessen wird, hängt in starkem Maße vom Material des Dielektrikums ab. Der tan δ liegt bei Kondensatoren mit einer DK kleiner als etwa 100 im Bereich $\leqq$ 0,4 bis $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ je °C; bei Epsilankondensatoren ist dieser Wert beträchtlich größer.

Nahezu alle keramischen Kondensatoren haben von den Betriebsbedingungen abhängige veränderliche Eigenschaften, z. B. einen nicht ausgeglichenen bzw. nicht linearen Temperaturgang der Kapazität (TK_C-

Verlauf) oder einen Frequenzgang der Dielektrizitätskonstante. In weit höherem Maße treten veränderliche Eigenschaften bei den Typen mit extrem großer Dielektrizitätskonstante auf, deren Kapazität sich sehr stark mit der Umgebungstemperatur ändert. Bei Epsilankondensatoren liegt das Maximum der DK bei etwa + 20 °C; sie erreicht annähernd ihren Nennwert bei einer Temperatur von + 60 °C, der üblichen Betriebstemperatur.

Die in ihrer Entwicklung noch verhältnismäßig jungen Kondensatoren mit **h**oher **DK** werden allgemein als „**HDK**-Kondensatoren" bezeichnet; in der englisch-amerikanischen Literatur sind sie unter der Bezeichnung *Hi-caps* — aus dem Englischen **hi***gh* **cap***acity* abgeleitet — bekannt.

Der Betriebsumfang der normalen Keramikkondensatoren umfaßt

Nennspannungen bis 1000 V—,
Betriebstemperaturen zwischen — 60 °C und + 100 °C

Die Herstellung der Belagsträger (Dielektrika) aus den obengenannten Massen erfolgt in speziellen Preßverfahren, bei der Fertigung von Röhrchen, z. B. im Strang-Preßverfahren. Das Material wird im feuchten Zustand verarbeitet. Nach Austrocknen und Brennen werden die Formkörper mit einem aus ätherischem Öl und Metalloxyden bestehenden Gemisch präpariert. Der nach der Trocknung folgende Einbrennprozeß, bei dem Temperaturen von mehreren Hundert Grad wirksam sind, verwandelt das Metalloxyd in reines Metall. Die Metallschicht geht eine äußerst feste Verbindung mit der Oberfläche des Belagträgers ein. An beide Beläge werden, bevor die Schutzlackierung erfolgt, die Anschlüsse als Drähte oder Fahnen angelötet.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Für Keramikkondensatoren gelten die Normblätter 41 311 bis 41 313 (Festkondensatoren; Nennkapazitäten und Kapazitätstoleranzen, Nennspannung, Kennzeichnung der Schirmung), das Rahmenblatt DIN 41 341 (Keramikkondensatoren; elektrische Daten, Aufbau, Kennfarben) und die Blätter 41 370 bis 41 376 (Keramik-Kleinkondensatoren der Gruppen 200 und 300 der Isolierkeramik für die Elektrotechnik — DIN 40 685 —).

Tafel 1. Kennzeichnende Eigenschaften der Dielektrika für Keramikkondensatoren entsprechend den DIN 41 341. (Den angegebenen Typen und elektrischen Werten sind Kondensatoren des VEB Keramische Werke Hermsdorf zugrunde gelegt.)

Handelsname	Calit	Tempa S u. S_1	Tempa X	Condensa N	Condensa F	Epsilan
Werkstoff-Typ nach DIN 40685	221	320	331	311	310	351
Dielektrizitätskonstante des Werkstoffs ε_r	≈ 6,5	≈ 14 ≈ 19[1]	≈ 30	≈ 40	≈ 80	≈ 5000
Temperaturbeiwert der Kapazität, $TK_C \cdot 10^6 \cdot {}^\circ C$ (zw. + 30 ... + 65 °C)	+ 90 ... + 160	+ 30 ... + 100 − 30[1]	− 150 ... − 300	− 360 ... − 480	− 680 ... − 860	≈ − 1,2 % /°C[2]
Verlustfaktor $\tan \delta \cdot 10^3$ (bei 1,0 MHz u. 20 °C[3])	≦ 0,8	≦ 0,4	≦ 0,8	≦ 1,5	≦ 1,0	≦ 5,0[4] ≈ 8 ... 25[5]
Bauform für Kleinkondensatoren entsprechend DIN	41370	41371	41373	41374	41376	In Vorbereitung

[1]) Mittelwert für Tempa S_1 [2]) Zwischen 20 ... 40 °C [3]) Richtwerte für max. rel. Luftfeuchte < 65 %
[4]) bei 0,3 MHz für ≧ 1000 pF [5]) bei 800 Hz

In Vorbereitung sind Normen für Keramik-Kleinkondensatoren mit sehr hoher Dielektrizitätskonstante (HDK-Kondensatoren, DK 150 ... > 2000). Nicht genormt sind Miniaturkondensatoren, Subminiaturkondensatoren und Kondensatoren für Kleinstempfänger. Für Leistungskondensatoren liegen Entwürfe vor (DIN 41 901 bis 41 905).

Hinsichtlich der Kleinkondensatoren werden zwei Klassen unterschieden; Leistungskondensatoren sind in einer Klasse zusammengefaßt. Die verschiedenen Ausführungsformen, die als Dielektrikum den gleichen Werkstoff aufweisen, sind jeweils in einem Normblatt behandelt.

Wie die Übersicht erkennen läßt, gehören zu den einzelnen Werkstoffen bestimmte Werte von ε, tan δ und des TK_C. Der große Bereich der TK_C-Werte (+ 160 bis − 860) ermöglicht den Ausgleich des Temperaturganges einzelner Bauelemente und vollständiger Schwingungskreise. Durch Parallel- oder/und Reihenschaltung von Kondensatoren mit unterschiedlichen Temperaturbeiwerten lassen sich Genauigkeiten von $\pm 10 \cdot 10^{-6}$ einhalten.

Die in der Zusammenstellung gegebenen Bereiche sind Streubereiche für die Einzelwerte aller Kondensatoren aus der betreffenden keramischen Masse.

Die Kapazitätstoleranzen sind: ± 0,5 pF, ± 1 Prozent, ± 2 Prozent, ± 5 Prozent, ± 10 Prozent, ± 20 Prozent; für Epsilan-Kondensatoren ist eine Toleranz von + 50 bis − 20 Prozent zugelassen.

Für Kondensatoren nach DIN betragen die Nennspannungen bzw. die höchstzulässigen effektiven Wechselspannungen im allgemeinen 500 V—/350 V~ und 700 V—/500 V~; niedrigere Spannungen gelten für die Type 351 (Epsilan 5000), die übrigens einen nur geringen Wechselstromanteil verträgt, und die Miniatur- und Subminiatur-Kondensatoren. Die mit einer Schutzumhüllung versehenen Kondensatoren für Kleinstempfänger sind für eine Nennspannung von 10 V— ausgelegt.

Da auch die zulässigen Ströme und Leistungen von Interesse sind, werden entsprechende Übersichten gegeben.

A. Rohrkondensatoren

Tafel 2. Zulässige Ströme und Leistungen für keramische Kleinkondensatoren:

Abmessungen		Zul. HF-Betr.-Strom		Zulässige Wirk-leistung*)	Zulässige HF-Belastung in VA*)				
		Bauform			Tempa S Tempa S_1	Calit Tempa X	Cond. F	Cond. N	Epsilan **)
D	L	Rd	Rf		tan $\delta \cdot 10^3$ (1 MHz)				
mm	mm	Amp.	Amp.	mW	$\leqq 0,4$	$\leqq 0,8$	$\leqq 1,0$	$\leqq 1,5$	$\leqq 5,0$
3	8	0,5	0,5	40	100	50	40	40	4
	12			60	150	75	60	50	6
	16			75	185	90	75	65	7
	20			100	250	125	100	85	10
4	16	0,75	1,5	100	250	125	100	65	10
	20			125	310	155	125	80	12
	30			185	460	230	185	125	18
	40			250	625	310	250	165	25
6	16	1,0	2,0	150	375	185	150	100	15
	20			190	475	235	190	125	19
	30			285	710	355	285	190	28
	40			380	950	470	380	250	38
8	30	1,5	3,0	380	950	470	380	250	38
	40			500	1250	625	500	330	50
	50			630	1570	790	630	420	63

B. Scheibenkondensatoren

Abmessung D	Zul. HF-Betr.-Strom Bauform Sd	Zulässige Wirkleistung*)	Zulässige HF-Belastung in VA*)				
			Tempa S Tempa S_1	Calit Tempa X	Tempa X Cond. F	Cond. N	Epsilan**)
			tan $\delta \cdot 10^3$ (1 MHz)				
mm	Amp.	mW	$\leqq 0{,}6$	$\leqq 0{,}8$	$\leqq 1{,}0$	$\leqq 1{,}5$	$\leqq 5{,}0$
5	0,5	30	50	35	30	20	3
8	1,0	70	110	85	70	45	7
12	1,5	140	230	175	140	90	14
14	1,75	230	380	285	230	150	23

C. Durchführungskondensatoren

Abmessung D	Zulässige Durchführungsströme	Zulässige Blindströme
mm	Amp.	Amp.
4	etwa 3	etwa 1,5
6	etwa 4	etwa 2,0
8	etwa 6	etwa 3,0

*) Die zulässige Verlustleistung (Wirkleistung) sowie die zulässige HF-Belastung (Blindleistung) entsprechen bei einer Raumtemperatur von etwa 20 °C einer Eigenerwärmung von etwa 30 °C, mit Ausnahme von Epsilan.

**) Für Epsilan ist die Eigenerwärmung nur halb so hoch angesetzt, seine Verwendung ist dann sinnvoll, wenn die anliegende Betriebsspannung nur eine kleine Wechselspannungs-Komponente hat.

Bei geringerer Belastung ist die Eigen-Übertemperatur entsprechend niedriger. Zulässige Betriebsleistung, Betriebsspannung und Betriebsstrom begrenzen unabhängig voneinander den Betriebsbereich der Kondensatoren.

Die nachstehende Zusammenstellung (Tafel 3) zeigt die Verteilung der Nennkapazitäten auf die verschiedenen Typen und Bauformen, unabhängig von den Nennspannungen. Der Übersicht liegt das Fertigungsprogramm des VEB Keramische Werke Hermsdorf zugrunde.

Kondensatoren für Kleinstempfänger werden in Tempa S-, Condensa F- und Epsilan-Ausführung mit Kapazi-

Tafel 3

Type	Kapazitätsbereiche*) für Bauform**) Rd	Rf	Sd	
Calit (221)	5...120	16...120	0,6...4	Kleinkondensator nach DIN.
	4...40			Miniaturkondensator.
	2...16			Subminiaturkondensator. Dmr. 2 mm
Tempa S, S_1 (320)	10...300	20...350	1,0...10	Kleinkondensator nach DIN.
	6...60			Miniaturkondensator.
	6...56			Subminiaturkondensator. Dmr. 2 mm
Tempa X (331)	32...500	80...250	2,0...20	Kleinkondensator nach DIN.
	30...160			Miniaturkondensator.
	15...120			Subminiaturkondensator. Dmr. 2 mm
Condensa N (311)	25...600	100...800	2,5...25	Kleinkondensator nach DIN.
Condensa F (310)	60...1600	200...1600	5,0...60	Kleinkondensator nach DIN.
	50...400			Miniaturkondensator.
	39...270			Subminiaturkondensator. Dmr. 2 mm
Epsilan 5000 (351)	1600...40000	1600...40000	200...80000	Kleinkondensator nach DIN.
	2000...16000			Miniaturkondensator.
	1800...15000			Subminiaturkondensator. Dmr. 2 mm

*) Kapazität C in pF.

**) Rd = Rohrkondensator mit Drahtanschluß, Rf = Rohrkondensator mit Lötfahnenanschluß, Sd = Scheibenkondensator mit Drahtanschluß.

täten von 5 pF bzw. 8, 10 und 200 pF bzw. 5000 bis 30 000 pF, Durchführungskondensatoren mit Kapazitäten von 10 bis 40 000 pF hergestellt.

Das Fertigungsprogramm des Hermsdorfer Werkes umfaßt ferner einige Spezialausführungen, Kleinblock-Kondensatoren mit mehreren parallelgeschalteten Röhrchen, Rohr- und Kleinblock-Kondensatoren in Calitschutzrohr und Hochleistungskondensatoren (Platten-, Topf- und Wulstrohr-Kondensatoren) für Senderzwecke.

Kennzeichnung der Kondensatoren:
Zur Kennzeichnung der Werkstofftypen und des zugeordneten Bereichs des Temperaturkoeffizienten der Kapazität werden keramische Kondensatoren mit einem farbigen Lacküberzug versehen; dieser gilt nicht als Isolation im Sinne des Berührungsschutzes.

In Tafel 4 sind die Kennfarben für Kondensatoren nach DIN 41 341 aus keramischen Werkstoffen nach DIN 40 685 zusammengestellt. Die Übersicht enthält auch die älteren Farbkennzeichen.

Tafel 4

Type				
221 Calit	(Ci)	DIN 41370	**rot**	alt: schwarzgrün
320 Tempa S, S_1*)	(St, St_1)	DIN 41371	**orange**	alt: dunkelgrün
331 Tempa X	(XT)	DIN 41373	**dunkelgrün**	alt: rot
311 Condensa N	(NCo)	DIN 41374	**gelb**	alt: ocker
310 Condensa F	(FCo)	DIN 41376	**dunkelblau**	alt: hellgrün
351 Epsilan	(E5000)	DIN —	**braun**	alt: blau

Entsprechend DIN 41 341 sollen Keramik-Kleinkondensatoren eine Beschriftung erhalten, aus der der Kapazitätswert, die Toleranz und die Nennspannung ersichtlich sind. Bei Kondensatoren in Kleinstausführung ist in Anbetracht der kleinen Flächen eine Kurzbezeichnung zulässig. Der zwischen den Herstellern im Rahmen der Deutschen Normung vorläufig frei vereinbarte Schlüssel ist in Tafel 5 wiedergegeben.

---

*) Tempa S_1-Kondensatoren sind zusätzlich mit einem Punkt gekennzeichnet.

Tafel 5. Kennzeichnungsschlüssel für Kleinkondensatoren.

Kurzzeichen der Nennkapazität:

Ein- bis dreistellige Zahl entsprechend dem Kapazitätswert in pF; Zahlen mit angefügtem „n" geben den Wert in nF an.

Kurzzeichen der Kapazitätstoleranz:

Zuordnung von Großbuchstaben

D	F	G	J
± 0,5 pF	– 1 Prozent	– 2 Prozent	– 5 Prozent

K	M	S
– 10 Prozent	– 20 Prozent	+ 50 – 20 Prozent

Kurzzeichen der Nennspannung:

Zuordnung von Kleinbuchstaben

a	b	c	d	e	f	g	h	
50 V	125 V	160 V	250 V	350 V	500 V	700 V	1000 V	Gleichspannung

u	v	w	
250 V	350 V	500 V	Wechselspannung

Für Scheibenkondensatoren mit einem Dmr. von 5 mm und Rohrkondensatoren, bei denen die zur Verfügung stehende Fläche für die gesamte Kurzkennzeichnung nicht ausreicht, wird lediglich der Zahlenwert der Kapazität angegeben.

Anwendung, Sonstiges — Die als Kleinkondensatoren bezeichneten Ausführungen nach DIN sind als Bauelemente für die normalen Empfänger- und Meßgeräte-Schaltungen vorgesehen. In Verbindung mit echter Kleinbauweise ist die Verwendung von Miniatur- und Subminiaturkondensatoren empfehlenswert bzw. notwendig. Die Kondensatoren für Kleinstempfänger werden in Transistor-Taschensupern und in Hörhilfen verwendet. Hochleistungskondensatoren sind vorzugsweise im Senderbau gebräuchlich.

Keramische Kondensatoren finden Anwendung in frequenzbestimmenden Kreisen, in Oszillator-, Vor-, Zwischenfrequenz-, Sperr- und Saugkreisen, als Verkürzungs-, Parallel-, Kopplungs-, Entkopplungs-, Gegenkopplungs-, Gitter- sowie Kompensationskondensatoren.

Scheibenkondensatoren sind infolge ihrer geringen Induktivität bevorzugte Bauteile in UKW- und Fernsehgeräten.

Im allgemeinen werden Keramik-Kondensatoren nur durch Überlastung zerstört. Schadhafte Exemplare sind gegen solche mit gleichen elektrischen Daten, gleicher Type und Bauform auszuwechseln.

2.17 *Elektrolytkondensatoren*

Im Gegensatz zu den oben besprochenen Kondensatorarten beruht die Wirkungsweise des Elektrolytkondensators auf elektrochemischen Vorgängen.

Als Dielektrikum dient eine auf einer Metallfolie erzeugte Oxydschicht; der eine Kondensatorbelag wird von dieser Metallfolie, der andere — als Gegenelektrode — durch einen Elektrolyten dargestellt.

Ausführungsform, Werkstoff, spezielle Eigenschaften, Fertigungsverfahren — Während der ursprüngliche Elektrolytkondensator mit einem flüssigen Elektrolyten versehen war, also einen „nassen" Kondensator darstellte, ist in dem modernen „trockenen" Kondensator der Elektrolyt in einem saugfähigen Material gespeichert. Da nur noch diese Ausführungsart Bedeutung hat, beziehen sich alle folgenden Angaben auf diese Form.

Das Dielektrikum besteht aus einer Aluminiumoxydschicht hoher elektrischer Spannungsfestigkeit. Als dessen Träger dient 30 bis 40 μm dicke Reinstaluminiumfolie. Die Oxydschicht, deren Dicke der anzulegenden Spannung entsprechen muß (bei einer Spannung von 500 V etwa $5 \cdot 10^{-4}$ mm), wird durch anodische Behandlung des „Muttermetalls" in elektrolytischen Bädern erzeugt.

Die beiden Beläge werden durch das unter der Oxydschicht liegende Muttermetall einerseits und einen diese Schicht benetzenden Elektrolyten andererseits gebildet. Diese Baueinheit wird als Anode bezeichnet; eine weitere Aluminiumfolie bildet lediglich eine breitflächige Stromzuführung zum Elektrolyten; man nennt sie Katode. Der Elektrolyt ist in einem saugfähigen, porigen Papier größter Reinheit, meist Natronzellulosepapier, gespeichert. Dieses bewirkt als Elektrolytträger

eine feine Verteilung des Elektrolyten längs der dielektrischen Schicht (Bild 28). Folien und Papier sind wie

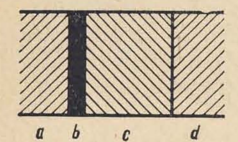


Bild 28. Aufbau eines Elektrolytkondensators mit glatter Anode (schematisch)

bei einem Papierkondensator zu einem Wickel zusammengefügt. Die aus diesem herausgeführten Anschlußstreifen werden mit Drähten für die Stromzuführung verschweißt; sind die Wickel in Aluminiumgehäuse eingesetzt, dann wird der zur Katode führende Anschlußstreifen mit dem Gehäuse kontaktiert und der Anodenanschlußstreifen an die Durchführung angenietet (Bild 29).

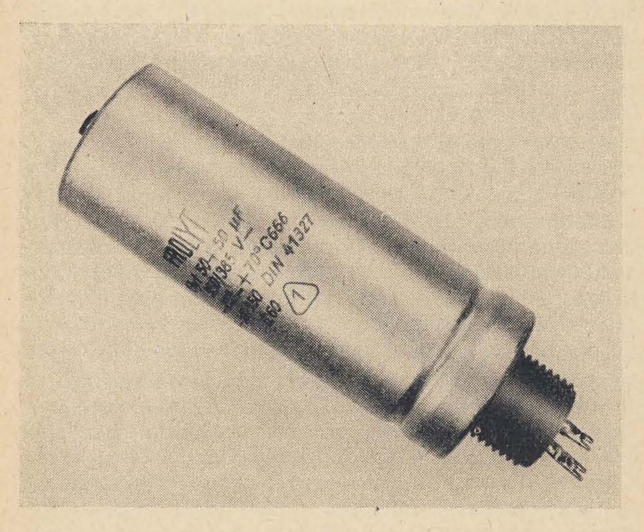


Bild 29. Elektrolytkondensator mit Doppelkapazität (50+50μF), Hochvolttype mit Schraubbefestigung, Klasse 2

Da in dem Kondensator durch elektrochemische Vorgänge ein Überdruck entstehen kann, sind zylindrische Gehäuse größeren Volumens mit einem Sicherheits-Überdruckventil versehen.

Das Bestreben, die Ausmaße des Elektrolytkondensators weiter zu verkleinern, hat zur Entwicklung des Rauhfolienkondensators geführt. Durch chemische oder elektrochemische Aufrauhung wird die Oberfläche der Folie um das 2- bis 10fache vergrößert (Bild 30). Mit

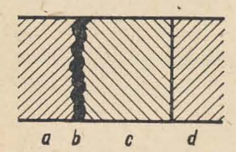


Bild 30. Aufbau eines Elektrolytkondensators mit rauher Anode (schematisch)

derartigen Kondensatoren ist es möglich, bei wesentlich kleineren Volumen gleiche Kapazitäten zu erzielen (Bild 31, 32, 33). Indessen muß man die Verwendung von Rauhfolienkondensatoren sorgfältig erwägen, da sie sich in mancher Hinsicht von den Kondensatoren mit glatter Anode unterscheiden.

Im folgenden werden die besonderen Eigenschaften des Elektrolytkondensators einer Betrachtung unterzogen.

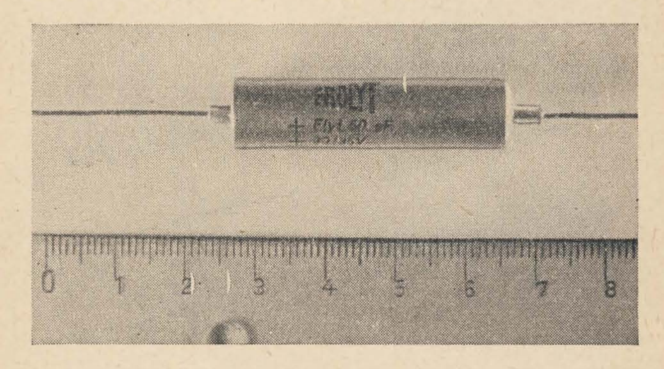


Bild 31. Elektrolytkondensator. Niedervolttype mit axialem Drahtanschluß; geringes Volumen infolge aufgerauhter Anode

Bild 32. Klein-Elektrolytkondensator, Niedervolttypen mit axialem Drahtanschluß

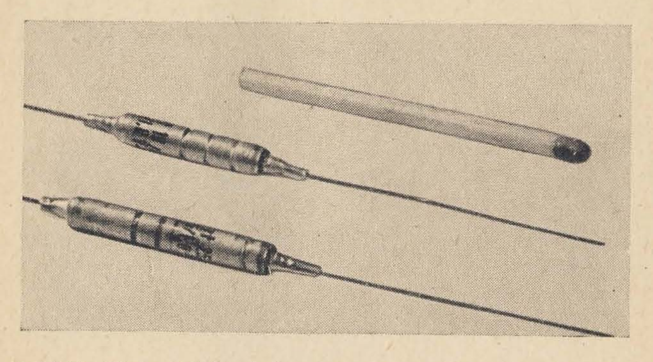


Bild 33. Kleinst-Elektrolytkondensatoren (10 und 25 μF), Niedervolttype 1,5/1,8 V – für Transistorgeräte

Die Spannungsfestigkeit ist temperaturabhängig; bei hoher Temperatur ist die Durchschlagsgefahr größer als bei normaler. Überall dort, wo ein Dauerbetrieb bei hohen Temperaturen erfolgt (durch hohe Umgebungstemperaturen oder durch Eigenerwärmung verursacht), muß eine entsprechende Dimensionierung des Bauelements vorgenommen werden. Die Eigenerwärmung hat zwei Ursachen: die durch den Reststrom hervorgerufene Gleichstromerwärmung und die durch die Welligkeit der am Kondensator liegenden Spannung bedingte Wechselstromerwärmung.

Die Kapazität ist abhängig von Spannung, Temperatur und Frequenz. Mit kleiner werdender Spannung steigt die Kapazität an, Kapazität und Spannung verhalten sich umgekehrt proportional. Mit sinkender Temperatur nimmt die Kapazität ab. Besonders im negativen Temperaturbereich wirkt sich diese Abhängigkeit sehr stark aus. Der Kapazitätsabfall wird so groß, daß die Funktionsfähigkeit normaler Kondensatoren schon bald nach Unterschreiten des Nullpunktes stark beeinträchtigt ist. Die Ursache liegt beim Elektrolyten, der bei niedrigen Temperaturen sehr schlecht leitet. Durch Verwendung von Spezialelektrolyten läßt sich der Temperatureinfluß in gewissen Grenzen herabmindern (Bild 34). Der Temperaturverlauf der Kapazität

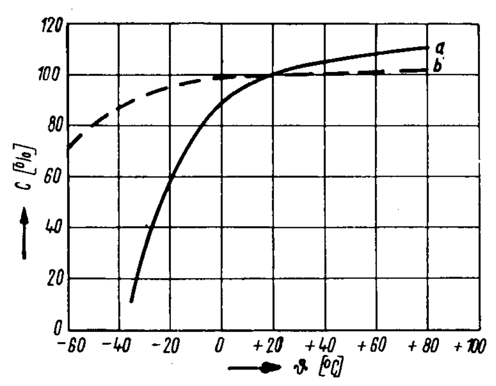


Bild 34. Temperaturgang der Kapazität (C = f [ϑ]; Kurve a: normaler Hochvolt-Elektrolytkondensator; Kurve b: Tieftemperatur-Elektrolytkondensator

ist ein wesentliches Qualitätskriterium. — Die Kapazität nimmt mit steigender Frequenz ab; bis zu einer Frequenz von 1 kHz ist der Kapazitätsabfall verhältnismäßig gering.

Ebenso wie die Kapazität ist auch der Verlustfaktor temperatur- und frequenzabhängig. Während mit fallender Temperatur der tan δ größer wird, erreicht er bei einer bestimmten Frequenz ein Minimum. Hier sind sowohl die Absolutwerte als auch der Verlauf je nach dem Aufbau des Bauelements unterschiedlich.

Infolge unvollkommener Sperrwirkung des Dielektrikums, das Halbleitereigenschaften besitzt, fließt bei angelegter Spannung ständig ein Strom, den man als Reststrom bezeichnet. Er wird meist an Stelle des Gleichstrom-Isolationswiderstands angegeben. Der Reststrom ist abhängig von der Spannung, der Temperatur (Bild 35) und der Zeit. Während er mit Spannung und

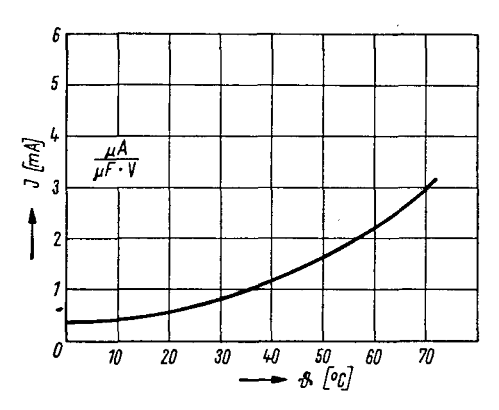


Bild 35. Abhängigkeit des Reststromes von der Temperatur (I = f [ϑ])

Temperatur steigt, sinkt er mit fortschreitender Einschaltdauer erst rasch, dann langsamer ab, um schließlich einen konstanten Wert zu erreichen. Da sich Fehler, die normalerweise einen Ausfall des Elektro-

lytkondensators hervorrufen, durch erhöhten Reststrom äußern, kann dieser als Maß für die Güte eines Elektrolytkondensators angesehen werden. Nach mehr als dreimonatiger spannungsloser Lagerung müssen Elektrolytkondensatoren nachformiert werden, um den durch Abbau der Oxydschicht bedingten, vergrößerten Reststrom auf seinen normalen Wert zurückzuführen.

Normalerweise werden ausschließlich gepolte (unipolare) Elektrolytkondensatoren verwendet. Diese müssen natürlich polrichtig angeschlossen werden und dürfen, weil nur e i n e der Elektroden mit einer Sperrschicht versehen ist, auch nicht in einem Wechselstromkreis Verwendung finden.

Wie aus den obigen Darlegungen hervorgeht, ist eine universelle Anwendung des Elektrolytkondensators nicht möglich.

Die Herstellung beginnt mit der Vorbehandlung der Aluminiumfolie (Muttermetall), auf die man — gegebenenfalls nach vorheriger Aufrauhung — auf elektrolytischem Wege eine Oxydschicht aufbringt. Nach Behandlung mit einem oxalsauren Elektrolyten, bei der eine Niederspannung an die Folie gelegt wird, kommt diese nach einer Spülung mit destilliertem Wasser in eine Hochvoltwanne mit einem Elektrolyten aus Borsäure. Die Spannung, die man in dieser Phase des Oxydationsprozesses anlegt, hängt ab von der Betriebsspannung, für die der Kondensator ausgelegt ist.

Diese Formierung geht bei einer Wannentemperatur von 98 °C vor sich. Auf einer Spezialwickelmaschine wird die formierte Folie im Naßwickelverfahren zusammen mit dem imprägnierten, d. h. mit Elektrolyt getränkten, und einem zweiten, nicht behandelten Papier sowie einer zweiten Folie (Katode) zu einem Kondensatorwickel verarbeitet. Die Wickel werden in Paraffinpapier eingeschlagen und zur Formierung in den Formierschrank gegeben, wo sie etwa zwei Stunden verbleiben. Nach diesem Prozeß erfolgt der Einbau in das Gehäuse. Zur Endformierung legt man die Kondensatoren für die Dauer von 24 Stunden nochmals an eine Formierspannung.

Normung, technische Daten, Kennzeichnung — Die wesentlichen elektrischen Daten der Elektrolytkondensatoren sind im Normblatt DIN 41 332 zusammengefaßt. Es ist eine Einstufung in zwei Klassen, Klasse 2 und Klasse 3, erfolgt. — Die Vorschriften beziehen sich sowohl auf Kondensatoren mit glatten als auch mit rauhen Elektroden.

Auszug aus DIN 41 332

Zulässiger Temperaturbereich:

Klasse 2 — 20 °C bis + 70 °C
Klasse 3 — 10 °C bis + 60 °C

Die obere Grenztemperatur ist die höchstzulässige Temperatur, die im ungünstigsten Falle an der Oberfläche des Kondensators auftreten darf. Hierbei müssen also auch Eigen- und Fremderwärmung einbezogen werden. Bei einer Wechselspannungsüberlagerung wird gemäß den DIN-Vorschriften die obere Grenztemperatur in beiden Klassen um 10 °C herabgesetzt.

Die untere Grenztemperatur ist die niedrigste zulässige Temperatur des Kondensators ohne Eigen- und/oder Fremderwärmung. Eine vorübergehende Lagerung bei Temperaturen bis zu — 40 °C ist statthaft.

Zulässiger Kapazitätsabfall:

Klasse 2 maximal 30 Prozent
Klasse 3 maximal 45 Prozent

Diese Werte sind auf eine Temperatur von 0 °C bezogen.

Maximaler Verlustfaktor tan δ:

Hochvoltkondensatoren 0,2
Niedervoltkondensatoren 0,3

Der Verlustfaktor, der als Dezimalbruch oder in Prozenten angegeben wird, ist auf eine Temperatur von + 20 °C und eine Frequenz von 50 Hz zu beziehen.

Bei Kondensatoren mit rauher Anode ist der tan δ größer als bei Kondensatoren mit glatter Anode.

Maximal zulässiger Reststrom:

I_R (μA) = 0,2 · C (μF) · U (V) + 200.

Der Reststrom wird bei einer Temperatur von 20 °C nach einer Einschaltdauer von einer Minute bei Nennspannung gemessen.

Bei $+60\ ^\circ C$ dürfen die Reststromwerte den 7fachen, bei $+70\ ^\circ C$ den 10fachen Wert erreichen.

Da nach spannungsloser Lagerung von mehr als drei Monaten die zulässigen Reststromwerte überschritten werden können, sind die Kondensatoren mit dem halben Wert des nach DIN zulässigen Reststroms nachzuformieren. Diese Nachformierung erfolgt bei konstantem Strom bis zur Erreichung der Nennspannung, die zwei Stunden konstant zu halten ist.

Kapazität und Kapazitätstoleranz

Die Angabe der Kapazität bezieht sich auf eine Temperatur von $+20\ ^\circ C$ und eine Frequenz von 50 Hz.

Die zulässigen Toleranzen der Nennkapazität sind der nachstehenden Übersicht zu entnehmen:

Kondensatoren mit glatter Anode:

$U \leqq 100$ V		
	$C < 25\ \mu F$	$+50\ -20$ Prozent
	$C \geqq 25\ \mu F$	$+30\ -20$ Prozent
$U > 100$ V		
	$C < 4\ \mu F$	$+50\ -20$ Prozent
	$C \geqq 4\ \mu F$	$+30\ -10$ Prozent

Kondensatoren mit rauher Anode:

$U \leqq 100$ V		$+50\ -20$ Prozent
$U > 100$ V	$C < 4\ \mu F$	$+50\ -20$ Prozent
	$C \geqq 4\ \mu F$	$+50\ -10$ Prozent

Die Kapazitätswerte beziehen sich auf den Anlieferungszustand.

Spannung

Die auf den Kondensatoren angegebenen Spannungswerte sind Nennspannung und Spitzenspannung. Unter Nennspannung ist die höchstzulässige Betriebsspannung zu verstehen, die d a u e r n d am Kondensator liegen darf. Eine Überschreitung der Nennspannung bis zur Spitzenspannung, die bei Hochvoltkondensatoren 10 Prozent höher liegt als die Nennspannung, ist für eine Zeitdauer von maximal einer Minute zulässig. Die Spitzenspannung darf nur fünfmal je Stunde maximal eine Minute wirksam sein. Die Betriebsspannung kann sich aus einer Grundgleichspannung

und einer Wechselspannung zusammensetzen; die Summe aus der Gleichspannungskomponente und dem Scheitelwert der Wechselspannungskomponente darf die Nennspannung nicht überschreiten. Der Betrag des Wechselspannungsanteils und die hieraus resultierende maximal zulässige Wechselstrombelastung sind nach DIN 41 332 festgelegt.

Zulässige überlagerte Wechselspannung

Nennkapazität	Wechselspannung in Volt					
	bei 250 V—		bei 350 V—		bei 450 V—	
μF	50 Hz	100 Hz	50 Hz	100 Hz	50 Hz	100 Hz
4	16	10	19	12	21	14
8	14,5	9	15	9,5	17,5	11
16	11	7	13	8	14,5	9
25	9,5	6	11	7	13	8
32	9	5,5	10,5	6,5	12	7,5
40	8	5	9,5	6	11	7
50	7	4,5	9	5,5	10,5	6,5
100	6,5	4	8	5	9	5,5

Bezüglich der Nennspannung sind zwei Typen zu unterscheiden:

Niedervolt-Elektrolytkondensatoren mit einer Nennspannung ≦ 100 V –

Hochvolt-Elektrolytkondensatoren mit einer Nennspannung > 100 V –.

Kennzeichnung der Elektrolytkondensatoren

Kurzbezeichnung „Elyt"
Kapazität in μF
Nennspannung/Spitzenspannung in V –
Temperaturbereich
Klasse
Polarität (z. B. neg. Pol am Gehäuse)
Zusatzbezeichnung „rauh" bei Rauhfoliekondensatoren
DIN-Bezeichnung oder BV
Herstellungsdatum
Hersteller oder Herstellerzeichen

Fertigungsbereich

Spannungsreihe für Elektrolytkondensatoren nach IEC 68

Prüfklasse 776 (gültig ab 1. Januar 1961)
Hochvoltkondensatoren: 150, 250, 350, 450 V —
Niedervoltkondensatoren: 6, 15, 25, 70 V —

Für funktechnische Zwecke werden in der Deutschen Demokratischen Republik Elektrolytkondensatoren für folgende Kapazitätswerte gefertigt:

Hochvoltkondensatoren:
1, 2, 4, 8, 16, 25, 32, 50, 100 μF

Niedervoltkondensatoren:
5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 μF

ferner Doppelkapazitäten von
4 + 4 μF bis 100 + 100 μF

Neuere Spezialausführungen sind
Tieftemperatur-Elektrolytkondensator 25 μF 350 V —,
Betriebstemperaturbereich — 40 bis 70 °C,
Kleinst-Elektrolytkondensatoren für Transistorschaltungen 1,5 bis 70 V — (d = 14 · 18 bis 6 · 35 mm).

Die Gehäuse sind durchweg zylindrische Aluminiumgehäuse. Es ist entweder zentrale Schraubbefestigung (M 18) oder freitragende bzw. Laschenbefestigung vorgesehen. Diese Ausführungen besitzen koaxiale Drahtanschlüsse.

Anwendung, Fehlerermittlung — Elektrolytkondensatoren werden als Lade- und Siebkondensatoren in Stromversorgungsgeräten, als Siebkondensatoren für die Gittervorspannungserzeugung in Niederfrequenzverstärkern, in Radiodetektorschaltungen u. a. m. verwendet.

Bei zweckmäßigem Einbau in die Schaltung und richtiger Dimensionierung haben Elektrolytkondensatoren eine relativ große Lebensdauer. Sie können jedoch vorzeitig durch Spannungsüberlastung zerstört werden. Eine überhöhte Betriebsspannung tritt bei verbrauchten Endröhren oder bei Wechselstromgeräten mit direkt geheizter Gleichrichterröhre durch den Einschaltstromstoß auf. Ein unzulässig hoher Reststrom (häufig die Folge von übermäßiger Eigen- oder Fremderwärmung) begünstigt einen Spannungsdurchschlag.

Auf die Notwendigkeit, einen Elektrolytkondensator nach mehrmonatiger spannungsloser Lagerung vor dem Einbau in die Schaltung nachzuformieren, wurde bereits hingewiesen. Unterbrechungen können als Folge von Korrosion auftreten, meist dort, wo die Anschlußfahne mit der Zuführung verbunden ist. — Als Alterserscheinung kommt das Eintrocknen des Elektrolyten in Betracht; der Kondensator verliert nach und nach seine Kapazität.

Da der durchgeschlagene Elektrolytkondensator eine erhöhte Stromaufnahme des Geräts zur Folge hat, ist dieser Kurzschlußfehler rasch zu ermitteln. Besteht der Verdacht, daß ein Elektrolytkondensator keine oder zu geringe Kapazität besitzt, dann wird ein Prüfkondensator mit entsprechender Kapazität und Betriebsspannung dem Prüfling parallelgeschaltet.

Eine Reststrommessung erfolgt mit einem in die Plusleitung des Stromkreises*) geschalteten Milliamperemeter. Der zulässige Stromwert ergibt sich aus der (Seite 86) angegebenen Formel. Eine einfache Prüfung, die sich empfiehlt, bevor ein eventuell defekter Kondensator in die Schaltung eingebaut wird, geschieht mit einer 15-Watt-Glühlampe. Der Prüfling liegt mit dieser in Reihe an einer dem Spannungsbedarf der Lampe entsprechenden G l e i c h s t r o m q u e l l e. Je nachdem, ob der Kondensator polrichtig angeschlossen ist oder nicht, leuchtet die Lampe kurzzeitig auf — der Prüfling ist dann in Ordnung —, oder die Lampe brennt stetig. Da in diesem Falle der Kondensator falsch angeschlossen war, muß er umgepolt werden. Wenn die Glühlampe bei richtiger Polung ebenfalls stetig hell leuchtet, liegt ein Kurzschluß vor, brennt die Lampe überhaupt nicht, so ist der Kondensator stromlos. Ein Kontaktfehler macht sich als Flackern bemerkbar. Schwaches Leuchten der Glühlampe zeigt einen zu großen Reststrom an. Schadhafte Elektrolytkondensatoren sind zu ersetzen; eine Reparatur ist meist nicht möglich, lohnt auch nicht.

---

*) Die anzulegende Gleichspannung entspricht der Betriebsspannung des Prüflings.

2.2 Kondensatoren mit veränderbaren Kapazitätswerten

2.21 *Trimmerkondensatoren*

Diese Kleinstkondensatoren, die im Gegensatz zu den betriebsmäßig bedienten Drehkondensatoren zur einmaligen Einstellung benutzt werden, besitzen einen durch Drehbewegung einstellbaren Belag (Rotor), der mit einem feststehenden Belag (Stator) eine veränderbare Kapazität bildet.

Ausführungsform, Werkstoff, Eigenschaften, technische Daten, Kennzeichnung, Anwendung

L u f t t r i m m e r — Stator und Rotor bestehen aus einigen konzentrisch angeordneten Zylindern aus Aluminium; das Dielektrikum ist Luft. Durch Ein- und Ausdrehen des auf einer Gewindespindel drehbaren Rotors wird eine Kapazitätsänderung bewirkt.

R o h r t r i m m e r — Diese Ausführung entspricht im Prinzip der oben besprochenen Bauform.

Das Bauelement besteht aus einem dünnen, federnden Messingblechzylinder als Stator und einem in diesem auf einer Gewindespindel drehbaren, massiven zylindrischen Aluminiumstab als Rotor. Zwischen beiden „Belägen" befindet sich eine Polystyrolfolie (Styroflex); sie stellt das Dielektrikum dar (Bild 36). Bei

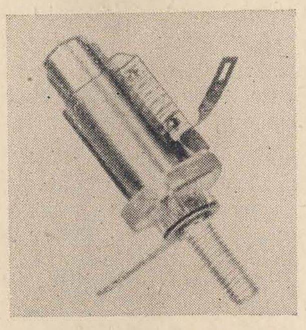


Bild 36. Rohrtrimmer; Dielektrikum Kunststoff-Folie

völlig eingedrehtem Rotor ist die maximale Kapazität eingestellt. Die Regelkurve verläuft geradlinig.

Eine andere Ausführung ist der keramische Rohrtrimmer. Als Dielektrikum dient ein Keramikröhrchen, auf dessen äußerer Oberfläche eine Silberschicht aufgebrannt ist. Diese bildet den äußeren Belag. Im Rohrinneren wird als zweiter „Belag" ein zylindrischer Messingstab durch eine Gewindespindel hinein- oder herausgedreht (Bild 37). Da dessen Durchmesser etwas

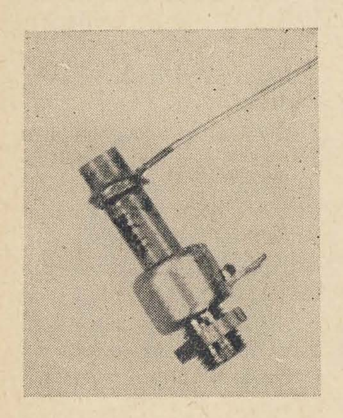


Bild 37. Rohrtrimmer; Dielektrikum Keramik/Luft

kleiner ist als der Röhren-Innendurchmesser, wird ebenfalls Luft als Dielektrikum wirksam.

Keramische Scheiben- und Knopftrimmer — Diese Ausführung besitzt alle Vorzüge der keramischen Kondensatoren.

Der Trimmer besteht aus einem keramischen Sockel und einer auf ihm drehbar gelagerten keramischen Rotorscheibe, die durch Federdruck angepreßt wird. Die Oberseite des Sockels und die auf ihr gleitende Unterseite der Scheibe sind mit höchster Genauigkeit plangeschliffen. Sowohl auf der Stator- als auch auf der Rotor-Oberseite (Sockel, Scheibe) sind halbkreis- oder sektorenförmige Silberbeläge aufgebrannt. Durch Drehen der Rotorscheibe mit einem Schraubenzieher oder einem Spezialwerkzeug zwischen einem Anschlag für die Anfangs- und einem Anschlag für die End-

kapazität kann die Trimmerkapazität so geändert werden, daß sie, von einem Mindestwert ausgehend (Beläge um 180° gegenseitig verschoben), stetig zunimmt (Bild 38 und 39).

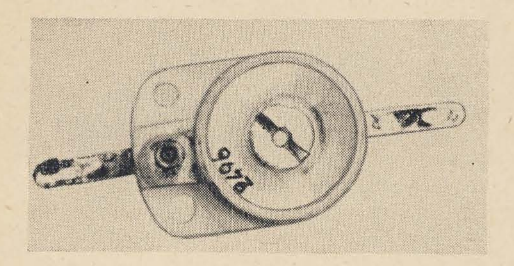


Bild 38. Keramischer Scheibentrimmer

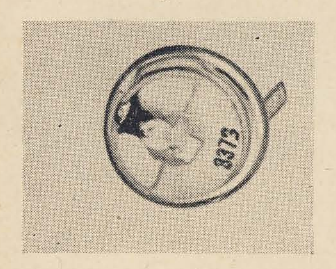


Bild 39. Keramischer Knopftrimmer

Der Scheibentrimmer zeichnet sich durch hohe Temperatur- und Zeitkonstanz aus, da die keramischen Werkstoffe keinen Alterungs- und Ermüdungserscheinungen unterworfen sind. Das Streufeld ist minimal. Auch diese Ausführung hat eine geradlinige Kapazitätskurve.

Keramische Trimmer sind lediglich mit einer Typennummer gekennzeichnet. Hieraus kann weder auf den Werkstoff des Dielektrikums, der den Temperaturkoeffizienten TK_C bestimmt, noch auf den Regelbereich geschlossen werden, wenn die Typenblätter nicht zur Verfügung stehen.

Die folgenden Tafeln geben über die Kenndaten der vom VEB Keramische Werke Hermsdorf hergestellten keramischen Trimmer Aufschluß. Zur Vereinfachung der Übersichten werden zuvor einige summarische Angaben gemacht:

Spannungswerte

	Nennspannung	Prüfspannung
Scheibentrimmer	350 V—/250 V ~	1500 V 1 s
Miniatur-Scheibentrimmer	250 V—/175 V ~	1000 V 1 s
Knopftrimmer	250 V—/175 V—	1000 V 1 s

	Verlustfaktor bei C_{max}	Temperaturbeiwert des Rotor-Werkstoffes
Calit	$\leqq 1,5 \cdot 10^{-3}$	$+90 \ldots +160 \cdot 10^{-6}/°C$
Tempa S	$\leqq 0,8 \cdot 10^{-3}$	$+30 \ldots +100 \cdot 10^{-6}/°C$
Condensa F	$\leqq 1,5 \cdot 10^{-3}$	$-680 \ldots -860 \cdot 10^{-6}/°C$
Condensa T		$-1000 \ldots -1500 \cdot 10^{-6}/°C$
Tempa W	$\leqq 1,0 \cdot 10^{-3}$	$-20 \ldots +20 \cdot 10^{-6}/°C$

Isolationswiderstand

Für alle Typen: $\geqq 10^{10}\ \Omega$, gemessen mit 100 V — nach einer Minute.

Tafel I Scheibentrimmer

Werkstoff des Stators: Calit				
Typen-Nr.	Werkstoff des Rotors	Anfangs-Kap. pF ≦	End-Kap. pF	Toleranz %
Ko 2616	Calit	1,2	2,5	+ 75
Ko 2509	Tempa S	2	7,5	+ 50
Ko 2512	Tempa S	5	14	+ 50
Ko 2496	Condensa F	4,5	18	+100
Ko 2497	Condensa F	5	27	+100
Ko 2502	Condensa F	15	40	+100
Ko 2504	Condensa F	20	90	+ 75

Tafel II Miniatur-Scheibentrimmer

Ko 3398	Calit	2	5	+50...—10
Ko 3413	Tempa W	4	12	desgl.
Ko 3396	Condensa F	4	20	desgl.
Ko 3392	Condensa F	6	30	desgl.
Ko 3389	Condensa F	10	40	desgl.

Tafel III Knopftrimmer

Typen-Nr.	Werkstoff des Rotors = Werkstoff des Stators Werkstoff des Rotors	Anfangs-Kap. pF ≦	End-Kap. pF	Toleranz %
Ko 3368	Condensa T	10	28	+50...−10
Ko 3370	Condensa F	4	14	desgl.
Ko 3371	Condensa F	7	20	desgl.
Ko 3372	Tempa W	2	5	desgl.
Ko 3373	Tempa W	3	7	desgl.

Trimmerkondensatoren dienen vorwiegend zum Abgleich von HF-Schwingungskreisen und zur Gleichlaufkorrektur von Mehrfach-Drehkondensatoren. In UKW-Schaltungen werden die Rohrtrimmer wegen ihrer sehr hohen Einstellgenauigkeit bevorzugt.

2.22 *Drehkondensatoren*

Bei dieser Kondensatorbauart greift ein bewegliches, mit einer Drehachse verbundenes Plattenpaket in ein feststehendes Plattenpaket ein.

Ausführungsform, Werkstoff, Eigenschaften, technische Daten, Anwendung — Luft-Drehkondensatoren — Das Dielektrikum ist Luft. Infolge der kleinen Dielektrizitätskonstante nehmen Luft-Drehkondensatoren einen relativ großen Raum ein. Stator- und Rotorplatten bestehen im allgemeinen aus Aluminiumblech, das sorgfältig planiert und kalibriert ist. Von einigen für Einlochmontage bestimmten kleinen Ausführungen abgesehen, sind Luft-Drehkondensatoren in eine Metallwanne aus Aluminiumdruckguß, aus verzinktem Stahl oder aus einer Legierung eingesetzt. Der Rotor ist bei hochwertigen Ausführungen kugelgelagert. Bei unsymmetrischem Aufbau wird er über die Drehachse und eine Schleiffeder für die Stromzuführung galvanisch (elektrisch leitend) mit dem Gehäuse verbunden. Das Statorpaket isoliert man durch kurze zylindrische Calitstäbe vom Gehäuse (Bild 40). Der Kapazitätswert ist abhängig von der Oberfläche und der Anzahl der Platten sowie von ihrem Abstand. Der normalerweise 180° umfassende Drehwinkel gestattet die stetige Einstellung eines beliebigen Kapazitätswertes zwischen Anfangs- und Endkapazität.

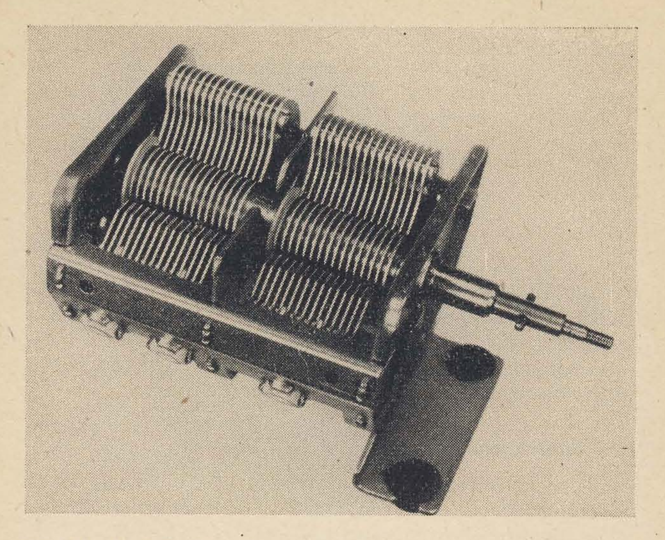


Bild 40. Luft-Drehkondensator

Der Kapazitätsverlauf ist eine Funktion des Plattenschnitts. Die in der Rundfunktechnik anfangs verwendete Kreisplattenform hat heute nur noch für Spezialzwecke, z. B. im Senderbau, Bedeutung. Infolge des linearen Kapazitätsverlaufs ergibt sich am Anfang des Abstimmbereichs eine starke Zusammendrängung der Stationen auf der Skala des Empfängers und somit eine schwierige Einstellung. Eine dem Drehwinkel proportionale Wellenlängenänderung läßt sich mit dem Nierenplattenkondensator erzielen. Da die Empfängerskalen im modernen Rundfunkgerät nach Frequenzen geeicht sind, wird auch dieser Plattenschnitt in der Praxis nicht mehr verwertet. Heute verwendet man neben dem frequenzgeraden Plattenschnitt, bei dem die Frequenz linear mit dem Drehwinkel verbunden ist, den logarithmischen Plattenschnitt. Hier sind Drehwinkel und Kapazität durch eine logarithmische Funktion in Beziehung gesetzt (Bild 41).

Für den Aufbau eines Mehrkreisempfängers, z. B. eines Supers oder eines Amateur-Kurzwellenempfängers mit

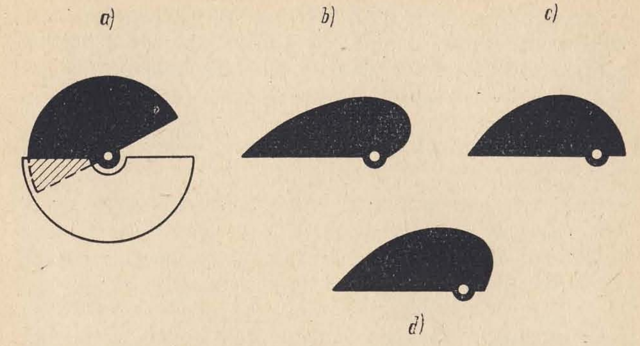


Bild 41. Plattenschnitte: a) Kreis-Plattenschnitt; b) wellengerader Plattenschnitt; c) frequenzgerader Plattenschnitt; d) logarithmischer Plattenschnitt

HF-Vorstufe(n), sind Mehrgang-Drehkondensatoren (Zwei- oder Dreigang-Drehkondensatoren) erforderlich. Bei diesem sitzen die Rotoren auf einer gemeinsamen Achse. Um einen Gleichlauf, einen genau gleichen Kapazitätsverlauf sämtlicher Kondensatoren zu ermöglichen, sind die äußeren Platten eines jeden Rotors mit mehreren radialen Einschnitten versehen. Durch Abbiegen der durch die Fiederung entstandenen Sektoren kann eine präzise Justierung vorgenommen werden.

Die vielseitigen und hohen Anforderungen, die an den Drehkondensator bei seinem Einsatz als frequenzbestimmendes Element gestellt werden, setzen sowohl mechanische als auch elektrische Präzisionseigenschaften voraus. An einen hochwertigen Luft-Drehkondensator müssen folgende Forderungen gestellt werden:

a) große Kurven- und Gleichlaufgenauigkeit,
b) kleine Anfangskapazität,
c) große Spannungsfestigkeit,
d) kleiner Verlustfaktor,
e) kleiner Temperaturbeiwert,
f) großer Isolationswiderstand,
g) Wärme- und Feuchtigkeitsbeständigkeit,
h) mechanische Stabilität.

Zu a) Eine Übersicht, aus der die Soll-Kapazität für einen definierten Drehwinkel, für Kurven- und Gleich-

laufgenauigkeit des nach DIN 41 360 genormten Luft-Drehkondensators 500 pF für Rundfunkzwecke hervorgeht, ist in folgender Tabelle wiedergegeben:

Drehwinkel	ΔC	Sollkapazität bei Messung	Kurvengenauigkeit 4...6 ‰	Gleichlaufgenauigkeit 3 ‰
$\alpha°$	pF	pF	± pF	± pF
0	0	60		
13	8,2			
26	18,5	78,5	0,34	0,24
39	32,0			
52	49,0	109	0,50	0,33
65	70,8			
78	100,2	160,2	0,78	0,48
95	150,9			
112	209,6	269,6	1,41	0,81
120	242,5			
129	281,5			
145	353,0	413,0	2,31	1,24
162	429,5			
178	502,0	562,0	3,37	1,69

Die Anfangskapazität darf höchstens 13 pF betragen.

Bei den Messungen ist die Anfangskapazität auf 60 pF zu ergänzen.

Zu b) Die DIN-Vorschrift legt $\leqq$ 13 pF fest.

Zu c) Beim Durchdrehen der an 500 V— liegenden Pakete darf kein Überschlag erfolgen.

Zu d) Im Bereich
150 ... 1630 kHz: $\tan\delta \leqq 1 \cdot 10^{-3}$
5 ... 20 MHz: $\tan\delta \leqq 2 \cdot 10^{-3}$
bei 20 °C und 65 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit.

Zu e) Zwischen + 20 °C und + 50 °C beträgt der TK_C-Wert der Endkapazität $(30 \pm 80) \cdot 10^{-6}/°C$ (nach den Technischen Daten des VEB Fernmeldewerk Arnstadt).

Zu f) Bei 30 bis 50 Prozent relativer Luftfeuchte und 100 V— (bei eingestellter Endkapazität), Stator gegen Rotor und Gehäuse gemessen $\geqq$ 1000 MΩ (nach den Technischen Daten des VEB Fernmeldewerk Arnstadt).

Zu g) Je nach Art der vorgeschriebenen Prüfungen sind maximale Kapazitätsänderungen von 1 Promille, 2 Promille bzw. 3 Promille zulässig.

Zu h) Nach Schüttel-, Verwindungs-, Seilzug- und Dauerdrehprüfung sind maximale Kapazitätsänderungen von 1 Promille bzw. 2 Promille zulässig.

Unsymmetrische Luftdrehkondensatoren findet man in Funkempfängern und Sendern mit kapazitiver Abstimmung, soweit diese Geräte n i c h t im UKW-Gebiet arbeiten.

Empfangsgeräte, die auch UKW-Sendungen aufzunehmen gestatten (dies ist die Mehrzahl aller modernen Rundfunkempfänger), verwenden eine Kombination mit der im folgenden besprochenen Bauform des Luft-Drehkondensators.

Im Gegensatz zu den unsymmetrischen Ausführungen sind **UKW-Kondensatoren** symmetrisch aufgebaut. Sie besitzen zwei Statoren, in die auf einer gemeinsamen Achse befestigte, elektrisch miteinander verbundene Rotoren eingreifen. Diese sind n i c h t an Masse geschaltet. Die Statorpakete wirken mit den Rotorpaketen wie zwei hintereinandergeschaltete Kondensatoren. Die Anordnung hat den wesentlichen Vorteil, daß keine Kontaktabnahme an beweglichen Achsen erfolgt (Bild 42 und 43).

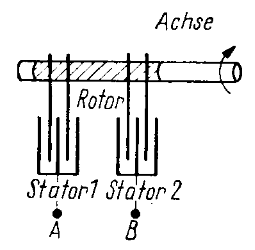


Bild 42. Doppelstator-Drehkondensator (schematisch)

Kontaktfedern erzeugen im Bereich hoher Frequenzen (UKW, hochfrequentes Gebiet der Kurzwelle) häufig Kratzgeräusche, die sich bei Verwendung des symmetrischen Drehkondensators vermeiden lassen, weil hier der Strom den beiden Statoren zugeführt wird.

Die besprochene Bauform wird auch als Doppelstator-Drehkondensator bezeichnet; in Amateurkreisen ist sie als Split-Stator-Drehkondensator bekannt.

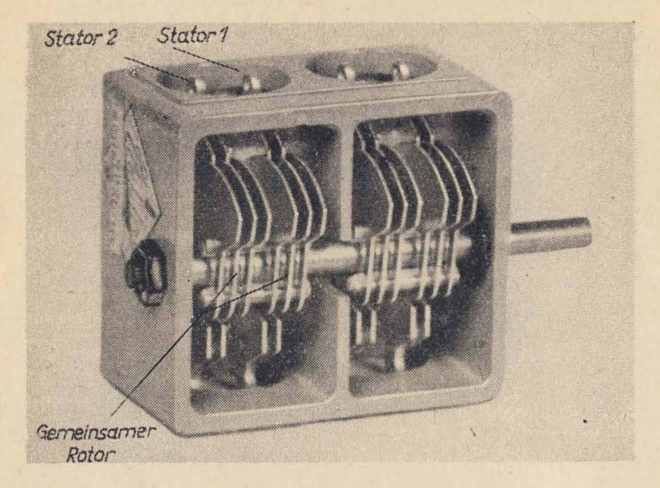


Bild 43. Zweigang-Doppelstator-Drehkondensator

Für Mehrkreisgeräte werden ebenfalls Zwei- und Dreigang-Doppelstator-Drehkondensatoren hergestellt. Unsere Industrie fertigt UKW-Drehkondensatoren mit einer Kapazitätsvariation von 8, 14, 15, 20, 28, 30 und 38 pF, die Anfangskapazitäten liegen im Bereich VII 2 bis $\leqq$ 10 pF.

Eine Sonderausführung des Luft-Drehkondensators ist der **Differential-Kondensator.** Dieser Doppelkondensator besteht aus zwei in einer Ebene gegenüberliegend angeordneten Statoren und einem dazwischen angebrachten Rotor. Bei Drehung des Rotors vergrößert sich die Kapazität des einen Kondensators, während die des anderen abnimmt. Das Bauelement wirkt als kapazitiver Spannungsteiler (Bild 44).

Hauptanwendungsgebiete sind: die hochfrequenzseitige Lautstärkeregelung und die Rückkopplungsregelung im Geradeausempfänger. Von beiden Möglichkeiten wird in Amateur-Kurzwellenempfängern Gebrauch gemacht. In der Prüf- und Meßtechnik dient der Differential-Drehkondensator zur exakten Dosierung hochfrequenter Spannungen.

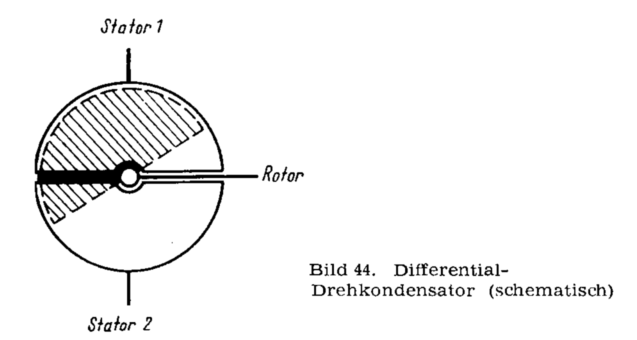


Bild 44. Differential-Drehkondensator (schematisch)

Möglicherweise, vorwiegend nach längerem Betriebseinsatz auftretende Fehler sind Plattenschlüsse und nichteinwandfreie Kontaktgabe der Rotorschleiffeder. Plattenschluß durch verzogene Platten, wie er bei älteren Ausführungen mit Spritzgußwannen-Gehäuse vorkommt, läßt sich unter Umständen zwar beseitigen, doch ist bei Mehrgang-Drehkondensatoren meist ein einwandfreier Gleichlauf nicht mehr herzustellen. Selbstverständlich kann man einen durch andere Ursachen bewirkten Plattenschluß normalerweise beheben. Wenn metallische Fremdkörper den Plattenschluß verursachen, sollte erst versucht werden, diese durch mechanische Mittel (Ausblasen, Reinigung mit Tetrachlorkohlenstoff) zu entfernen. Andernfalls muß der Kondensator ausgebrannt werden. Dabei ist im eingebauten Zustand die Stator-Stromzuführung abzutrennen. In den Stromkreis muß als Schutzwiderstand eine Glühlampe mit hoher Wattzahl eingeschaltet sein. Bei im Lautsprecher wahrnehmbaren Kratzgeräuschen wird eine Säuberung der Kontaktstellen der Rotorschleiffedern mit Tetrachlorkohlenstoff vorgenommen; es empfiehlt sich, die Kontaktstelle mit Kontaktöl (Cramolin) zu versehen.

Drehkondensatoren mit festem Dielektrikum — Diese Ausführung entspricht im grundsätzlichen Aufbau dem des Luft-Drehkondensators. Als Dielektrikum dienen Hartpapier und Kunstfolie. Entweder sind diese Kondensatoren gehäuselos — das System wird lediglich durch zwei Isolierstoffplatten

Schichtwiderstände: Widerstandsbelastung — 0,25 W ... 10 W —

Belastbarkeit des Widerstands in Watt	Höchstzulässiger Strom in Milliampere für einen Widerstand von ... Ω (Abgerundete Werte) — Widerstand in Ω: 10	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	100000	200000	500000	1 MΩ
0,25	150	70	50	30	20	15	12	7	5	3,5	2	1,5	1	0,6	0,4
0,5	220	100	70	50	30	20	15	10	7	5	3	2	1,4	0,8	0,6
1	310	140	100	75	40	30	20	14	10	7	4	3	2	1,2	0,8
2	450	200	140	100	60	45	30	20	14	10	6	4	2,8	1,6	1,2
3	550	245	180	130	80	50	35	25	17	12	7	5	3,4	2,1	1,4
10	1000	440	330	230	150	100	70	45	30	22	13	9	6,3	3,7	2,5

Belastbarkeit des Widerstands in Watt	Höchstzulässige Spannung in Volt für einen Widerstand von ... Ω (Abgerundete Werte) — Widerstand in Ω: 10	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	100000	200000	500000	1 MΩ
0,25	1,5	3,5	5	7,5	10	15	20	35	50	70	100	150	200	290	420
0,5	2	5	7,5	10	15	20	30	50	70	90	150	210	280	420	560
1	3	7	10	15	20	30	45	70	100	130	210	300	400	590	800
2	4,5	10	15	20	30	45	60	100	140	190	300	430	560	830	1100
3	5,5	12	15	25	40	55	75	120	170	230	360	520	690	1000	1800
10	10	22	30	45	70	100	140	220	310	430	670	950	1300	1900	2500

abgedeckt – oder in einem kleinen Isolierstoffgehäuse untergebracht. Im ersten Fall sind sie für Einlochmontage vorgesehen.

Infolge der größeren Dielektrizitätskonstante der als Dielektrika verwendeten Isolierstoffe bleiben die äußeren Abmessungen des Bauelements relativ gering. Die schlechteren elektrischen Eigenschaften der Dielektrika bedingen indessen größere Verluste, so daß die Güte des Hartpapier- oder Kunststoff-Drehkondensators hinter der des Luft-Drehkondensators zurücksteht.

Für Kleinstgeräte, z. B. Transistor-Super, finden Zweigang-Drehkondensatoren mit Kunststoffdielektrikum als frequenzbestimmendes Bauelement Verwendung (Bild 45). Im übrigen sind Drehkondensatoren mit

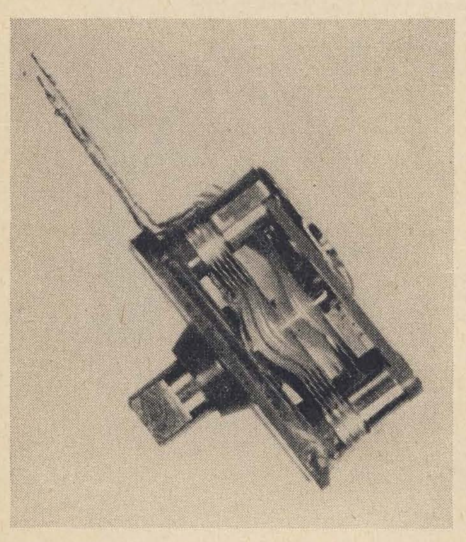


Bild 45. Drehkondensator in Miniaturausführung mit Kunstfolie-Dielektrikum

festem Dielektrikum zur Regelung der Rückkopplung in Geradeausempfängern für Amateurzwecke gebräuchlich. Hier kann auch mit Vorteil ein Differential-Kondensator mit festem Dielektrikum benutzt werden.

Literaturhinweise

Nottebrock
Bauelemente der Nachrichtentechnik, Berlin 1949

Pabst
Bauelemente der Rundfunktechnik, Leipzig 1960

Rint/Kretzer/Diefenbach
Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechniker, Berlin-Borsigwalde

„funkamateur“, Neuenhagen bei Berlin

„Funktechnik“, Berlin-Borsigwalde

„radio und fernsehen“, Leipzig

Prospekte der Bauelemente-Industrie

INHALTSVERZEICHNIS

KONDENSATOREN

Zweite Auflage, 11.–20. Tausend
Verlag Sport und Technik, Neuenhagen bei Berlin, 1962
Lizenz-Nr. 545–650/4702
Zeichnungen: Hildegard Seidler
Lektor: Sonja Topolov
Fotos: H.-J. Fischer, Archiv des Verfassers und Werkfotos
Gesamtherstellung: (204) Graphische Werkstätten Berlin,
Werk I 10 2986



Preis: 1,90 DM

VERLAG SPORT UND TECHNIK